

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“PROPUESTA DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA PARA
INCREMENTAR LA RENTABILIDAD DE UNA
EMPRESA SUMINISTRADORA DE SERVICIO DE
MAQUINARIA PESADA EN HUARAZ”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Bach. Diego Andree Tomas Centeno

Asesor:

Ms. Oscar Alberto Goicochea Ramirez

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

A mi familia por su contante apoyo moral y
profesional en el desarrollo de mi carrera.

AGRADECIMIENTO

A los docentes y profesionales que aportaron
con su conocimiento para el desarrollo del
trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Antecedentes.....	7
1.2.1. Antecedentes Internacionales	7
1.2.2. Antecedentes Nacionales.....	9
1.2.3. Antecedentes Locales	11
1.3. Bases teóricas	12
1.4. Definición de Términos.....	23
1.5. Formulación del problema	25
1.6. Objetivos.....	25
1.6.1. Objetivo general	25
1.6.2. Objetivos específicos.....	25
1.7. Hipótesis.....	26
1.8. Justificación	26
1.9. Aspectos Éticos	27
1.10. Variables.....	27
1.10.1. Variable independiente.....	27
1.10.2. Variable dependiente.....	27
1.11. Operacionalización de Variables	28
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	29
2.1. Tipo de investigación.....	29
2.2. Técnicas e Instrumentos	29
2.3. Procedimiento.....	33
2.3.1. Misión y Visión.....	33
2.3.2. Organigrama.....	34
2.3.3. Distribución de la Empresa	35
2.3.3.1 Maquinaria	35
2.3.4. Clientes.....	35
2.3.5. Proveedores	36
2.3.6. Principales Productos y/o servicios	36
2.3.7. Diagrama de Proceso productivo de la Empresa.....	37
2.3.8. FODA.....	37
2.3.9. VSM de la empresa	38
2.3.10. Mapa de Procesos.....	40
Diagnóstico de problemáticas principales	41
2.4. Solución propuesta.....	44

CAPÍTULO 3. RESULTADOS	80
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	82
4.1. Discusión	82
4.2. Conclusiones	83
REFERENCIAS	85
ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables.....	28
Tabla 2. Materiales, instrumentos y métodos de recolección de datos	29
Tabla 3. <i>Instrumentos y métodos de procesamiento de datos</i>	32
Tabla 4. <i>FODA de la empresa</i>	37
Tabla 5. Priorización de causas raíz por impacto económico	42
Tabla 6. Estimación del consumo de diésel según nivel de exigencia promedio	49
Tabla 7. Estimación del consumo de diésel por hora.....	49
Tabla 8. Costo de emisión de órdenes de compra	72
Tabla 9. Costo de mantenimiento de materiales en almacén	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maquinaria pesada y sus operaciones	2
Figura 2. Participación en ventas y alquiler de maquinaria para construcción	4
Figura 3. Participación en ventas y alquiler de maquinaria para minería	4
Figura 4. Procedimiento de trabajo en la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz	33
Figura 5. Organigrama de la empresa	34
Figura 6. Layout actual	35
Figura 7. Diagrama de operaciones actual	37
Figura 8. VSM de la empresa	38
Figura 9. Cadena de Valor	39
Figura 10. Mapa de procesos	40
Figura 11. Diagrama Causa Efecto de la problemática de la empresa	41
Figura 12. Pareto de causas raíces de la problemática	42
Figura 13. Matriz de indicadores	43
Figura 14. Cálculo número de muestra	47
Figura 15. Muestreo de nivel de exigencia de la máquina	48
Figura 16. Etapas del mantenimiento preventivo	50
Figura 17. Especificaciones de la excavadora 330 D2L	52
Figura 18. Indicadores excavadora A año 2019	54
Figura 19. Indicadores excavadora B año 2019	55
Figura 20. Indicadores excavadora C año 2019	56
Figura 21. Resumen indicadores de mantenimiento 2019	57
Figura 22. Pareto de fallas funcionales por sistema de la excavadora	57
Figura 23. Pareto de fallas por sistema	58
Figura 24. Pareto de fallas por componente o pieza	58
Figura 25. Árbol de causas de las fallas de excavadoras	59
Figura 26. Sistemas de excavadora CAT	60
Figura 27. Matriz AMFE de fallas de excavadora	61
Figura 28. Resultado del AMFE con jerarquización de causas de fallas	62
Figura 29. Matriz de criticidad	63
Figura 30. Árbol de decisiones RCM	64
Figura 31. Hoja de decisiones RCM	65
Figura 32. Plan de mantenimiento preventivo de sistema hidráulico	66
Figura 33. Plan de mantenimiento preventivo de sistema de potencia	66
Figura 34. Plan de mantenimiento preventivo de sistema eléctrico y electrónico	67
Figura 35. Plan de mantenimiento preventivo de sistema de implementos de máquina	67
Figura 36. Indicadores de resultado de la propuesta	68
Figura 37. Programa de entrenamiento para operadores de maquinaria	70
Figura 38. Gestión de inventarios	77
Figura 39. Flujo de Caja proyectado	78
Figura 40. Estado de Resultados proyectado	79
Figura 41. Pérdida Actual Vs Pérdida post mejora de la CR1 Falta Sistema de mantenimiento	80
Figura 42. Pérdida Actual Vs Pérdida post mejora de la CR2 Falta Capacitación y Control	80
Figura 43. Pérdida Actual Vs Pérdida post mejora de la CR3 Falta Control de Inventarios	81
Figura 44. Rentabilidad Actual Vs Rentabilidad post mejora	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. GPS Control Total	88
Anexo 2. Información Maquinaria	89
Anexo 3. Ficha de inscripción de capacitaciones	90
Anexo 4. Cronograma de capacitaciones	91
Anexo 5. Fotografías en la empresa	92

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo general el desarrollo de una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística mediante el uso de Herramientas de ingeniería industrial para incrementar la rentabilidad de una empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada, ya sea por la falta de mantenimiento preventivo, la falta de capacitación y control o la falta de control de inventarios. Planteado el problema, objetivos, hipótesis y variables, se hizo uso de la investigación aplicada, en el cual se aplicaron herramientas de gestión de mantenimiento, gestión de RRHH y gestión logística a cada una de las causas raíces que presentaba la empresa mediante el diagrama Ishikawa y, además, utilizando el diagrama de Pareto en el cual se pudieron ponderar los principales problemas encontrados, enfocándose en las que tienen mayor impacto en la rentabilidad de la empresa con un total de 3. Las propuestas de mejora se basaron en la implementación de Herramientas de ingeniería industrial lo que permitió eliminar o disminuir actividades que no generaban valor alguno para la empresa ocasionando una gran insatisfacción en el cliente. Implementando dichas mejoras, se incrementaron las ventas de servicio de S/2'225,506 a S/2'348,875 y disminuyeron los costos operativos de S/2'127,129 a S/2015',407 con una mejora del 0.7% sobre la rentabilidad sobre las ventas de la empresa. Obteniendo un VAN de S/3,387, un TIR de 73.19%, un B/C de S/2.44 y un PRI de 7 meses.

Palabras clave: mantenimiento, logística, rentabilidad, maquinaria pesada, AMFE

ABSTRACT

The general objective of this work is to develop a proposal for improvement in maintenance and logistics management through the use of industrial engineering tools to increase the profitability of a heavy machinery service provider company, either due to lack of maintenance preventive, lack of training and control or lack of inventory control. Once the problem, objectives, hypotheses and variables were raised, applied research was used, in which maintenance management tools, HR management and logistics management were applied to each of the root causes that the company presented through the Ishikawa diagram. and, in addition, using the Pareto chart in which the main problems encountered could be weighted, focusing on those that have the greatest impact on the profitability of the company with a total of 3. Proposals for improvement were based on the implementation of Tools of industrial engineering which allowed to eliminate or reduce activities that did not generate any value for the company causing great dissatisfaction in the client. Implementing these improvements, sales were increased from S / 2'225,506 to S / 2'348,875 and operating costs decreased from S / 2'015,407 to S / 2'127,129 with an improvement of 0.7% over the profitability of the company's sales. Obtaining a NPV of S / 3,387, an IRR of 73.19%, a B / C of S / 2.44 and a PRI of 7 months.

Keywords: maintenance, logistics, profitability, heavy machinery, FMEA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La maquinaria pesada es un tipo de máquina que se caracteriza, ante todo, por una movilidad más o menos restringida y una alta capacidad por efectuar trabajos difíciles.

Se trata de un vehículo automotor destinado exclusivamente a obras industriales, públicas o militar como la construcción, minas y canteras, silvicultura, manipulación, reciclaje, hormigón, pavimento y asfaltado, demolición, agricultura, obras públicas y militares.

Debido a sus características técnicas y físicas, este tipo de máquinas tiene restricciones para transitar por las vías públicas.

Considerando su función y grado de especialización, una maquinaria pesada puede clasificarse en uno de los dos grupos siguientes: maquinaria pesada universal o maquinaria pesada especializada.

Una maquinaria pesada universal se distingue por satisfacer las necesidades de dos o más industrias. Este es el caso de la siguiente maquinaria pesada: cargadores y retroexcavadoras, excavadoras, *bulldozers*, elevadores, grúas, motoniveladoras y tractores.

Una maquinaria pesada especializada cubre generalmente las necesidades de una sola industria: maquinaria pesada para agregados y reciclaje, para asfalto y hormigón, para trabajos forestales, etc.

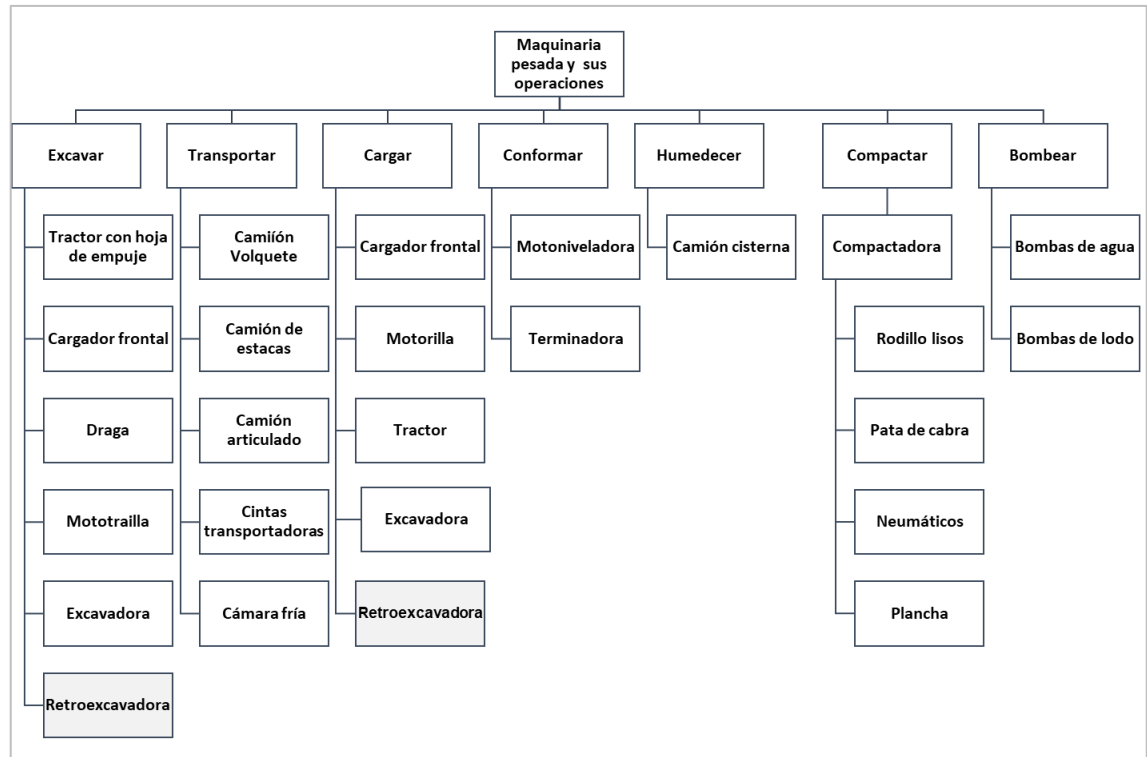


Figura 1. Maquinaria pesada y sus operaciones

Las empresas suministradoras de maquinaria pesada, están en crecimiento, a nivel mundial. Según el portal interempresas.com, durante los nueve primeros meses de 2016 se han vendido un total de 496.500 máquinas de movimiento de tierras en todo el mundo, 5.000 menos (-1%) que en el mismo periodo del 2015. La caída se ha producido sobre todo en el primer trimestre del año, mientras que la situación ha mejorado en los meses siguientes. Los mayores incrementos se han producido en mercados emergentes como China (+8%) e India (+31%), registrándose también buenos resultados en Europa Occidental (+11%). Por el contrario, se han registrado caídas en mercados destacados como Norteamérica (-3%) y Japón (-24%).

En el Perú, según el portal del diario El Comercio de 13 de febrero del 2018, con el repunte del precio de los metales, el sector minero otra vez es el principal comprador de maquinaria. En minería a tajo abierto, la tendencia al gigantismo

continúa marcando la pauta, debido a su impacto en la productividad, por ello las compañías están solicitando camiones gigantes de 400 toneladas como el CAT 797F o el 980E, que aquí son vendidos por Ferreyros, representante de Caterpillar en el Perú, y Komatsu-Mitsui.

El gerente general de Ferreyros, señala que en minería subterránea hay una inclinación por buscar maquinaria con el menor consumo de combustible y la mayor productividad.

La recuperación de la construcción también está reanimando las ventas. Directivos de Komatsu-Mitsui, indican que hoy la demanda en este sector está concentrada en excavadoras, tractores sobre orugas, motoniveladoras, rodillos compactadores y cargadores frontales.

Por su parte, directivos de JCB, marca inglesa representada por Dercomaq, refieren que las retroexcavadoras también son equipos con altos niveles de compra, debido a su amplio rango de aplicación.

Otras empresas que tienen una activa participación son Cresko y Unimaq, firmas vinculadas a Ferreycorp. Cresko informa que uno de sus modelos más demandados es el tractor sobre orugas con un motor de 160 hp de la marca SEM; mientras que Unimaq destaca la venta de su montacargas CAT GP25NM.

Para seguir cubriendo las necesidades del mercado, Komatsu-Mitsui adelanta que este año introducirá camiones autónomos para la minería y palas hidráulicas de hasta 48 m³ de capacidad. En tanto, Ferreyros impulsará la venta de sus camiones mineros y las perforadoras CAT MD6540, incorporará los cargadores 994K y sumará la marca Valley Irrigation.

Ferreyros y Komatsu-Mitsui, dominan el mercado nacional y con participación casi exclusiva en los proyectos de construcción y minería gran envergadura, que si bien es cierto no es el mercado de alquiler de maquinaria pesada, se relaciona directamente.

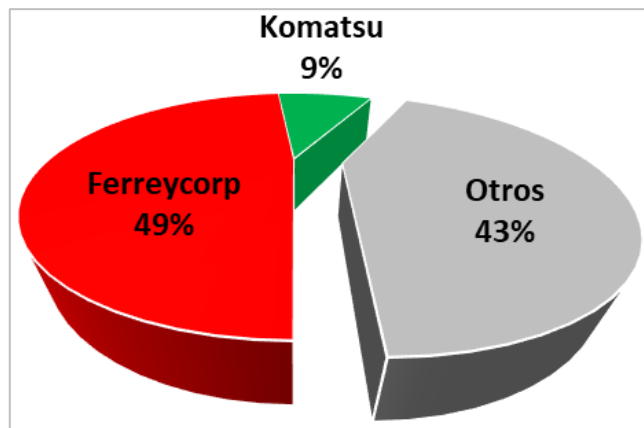


Figura 2. Participación en ventas y alquiler de maquinaria para construcción

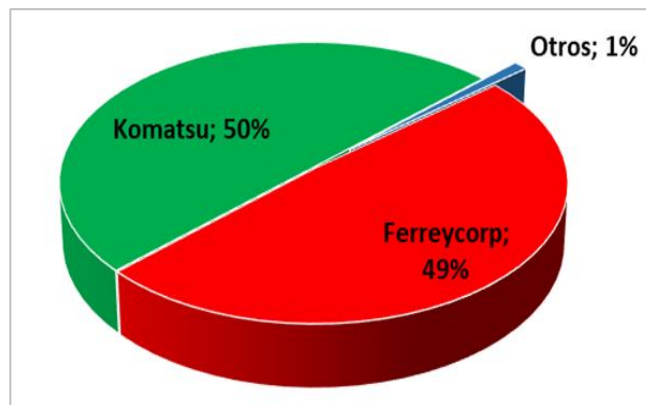


Figura 3. Participación en ventas y alquiler de maquinaria para minería

Asimismo, en el mercado nacional existen empresas locales con importante presencia que compiten fuertemente en la oferta de alquiler de maquinaria. ESMAC, S.A., es una de ellas. Se ubica en la ciudad de Huaraz, zona eminentemente minera y con grandes proyectos. Ofrece servicio de transporte de personal a mina y alquiler de maquinaria pesada.

De esta última actividad, se ocupará esta tesis.

La empresa renta el servicio a todo costo, de 3 excavadoras Caterpillar 330 D2L, a la minera.

Las condiciones del terreno donde estas operan son muy drásticas. La maquinaria sufre deterioro temprano y su disponibilidad, es decir el tiempo que el equipo está habilitada para operar, es en promedio, 81.7%.

Además, exige una Confiabilidad de 80% como mínimo. La brindada por la empresa está en 77.8% y se la ha conminado reiteradas veces a que mejore.

Esto está siendo observado continuamente por la supervisión de obra de la minera pues afecta el cumplimiento de su producción.

También acarrea perjuicio económico para el arrendador, pues no recibió pago por las 1,578 horas-máquina, que no operó. El impacto económico fue S/46,617. En antecedentes se menciona un caso exitoso de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad, RCM, metodología de mejora prevista para esta tesis, de hasta 10% en la disponibilidad. Consensuado con la gerencia de la empresa, prudentemente se podría estimar un incremento de 5%, con la propuesta de mejora del mantenimiento de excavadoras, motivo de esta tesis.

Parte del problema de la insuficiente disponibilidad de la maquinaria, se debe a la falta de repuestos. Los repuestos específicos, son abastecidos por el proveedor de la marca. Los materiales genéricos, son adquiridos directamente en Lima.

El año pasado se utilizaron materiales para el mantenimiento de la flota total, por un costo previsto en S/530,054 Por la deficiente gestión de inventarios, se

vieron forzados a recurrir a compras reactivas más costosas, a proveedores locales, para cubrir la rotura de stock de repuestos específicos de las tres excavadoras 330 D2L, motivo de esta tesis. El sobrecosto fue de S/10,780

El combustible representa más del 40 del costo total del servicio de alquiler. El diésel es adquirido directamente a un grifo *Primax* , que está ubicado dentro de los linderos de la empresa minera.

El consumo de diésel depende directamente del régimen de esfuerzo de la maquinaria. Según el portal www.ventamaquinaria.mx/consumo-combustible, varía si, por ejemplo, está desplazándose a nivel o en pendiente o, cavando en tierra o en roca. Además, puede variar hasta 12%, entre dos operarios distintos.

También guarda relación con la calidad con que se maniobra la unidad. En la empresa, se ha descuidado la capacitación al respecto. Los choferes operadores tienen muchos años de experiencia en mina, pero no están actualizados en técnicas de manejo. Esto ha determinado un sobrecosto de S/11,310.

Las excavadoras, al operar de forma continua todos los días., requiere se tenga operadores en retén, que reemplacen a los titulares, en su día de descanso. Semanal. El nivel de compromiso de estos es bajo y suelen incumplir con los programado. Esto obliga a subsanar las inasistencias con sobretiempos, que tienen 50% de recargo en el costo.

El año pasado se pagaron 320 horas de sobretiempo. El sobrecosto fue S/3,600.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Internacionales

Auda y Suprano, en su artículo científico “The Analysis of Doosan S500-LCV Excavator Maintenance Planning to Reduce Downtime Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Method”, producido por el Instituto de Tecnología 10 de Noviembre, en Indonesia, realizaron su investigación en una empresa dedicada al campo de la construcción y servicios de maquinaria pesada llamada PT X. El problema planteado en este estudio es la ocurrencia de tiempo de inactividad de la unidad que no se puede predecir y ocurre en un tiempo relativamente largo. El daño de los componentes de la excavadora hace que la unidad no pueda funcionar para aumentar la producción. El mantenimiento de la excavadora Doosan S500-LCV en PT X actualmente no es óptimo porque el tiempo de inactividad que se produce en la unidad todavía es relativamente alto. El procedimiento de mantenimiento estándar de las unidades excavadoras debe evaluarse para minimizar la ocurrencia de tiempo de inactividad, de modo que la unidad pueda usarse para la producción máxima. El método utilizado en este análisis es el método de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) con la evaluación del mantenimiento realizado y la sugerencia de mantenimiento correcta. A partir de los resultados del análisis y la discusión, los componentes críticos de la excavadora S500-LCV en PT X son la cuchara, la válvula de control, el radiador, el alternador y el interruptor hidráulico. El mantenimiento propuesto basado en el método RCM y la consideración de los costos de mantenimiento del

S500-LCV en PT X son un cucharón con mantenimiento preventivo, válvula de control con una combinación de mantenimiento preventivo y correctivo, radiador con mantenimiento preventivo, alternador con una combinación de mantenimiento preventivo y correctivo y martillos hidráulicos con mantenimiento preventivo.

Haro (2011) en su tesis “Estudio de la base del mantenimiento y su influencia en la confiabilidad de las estaciones de bombeo poliducto Shushufindi- Quito en la Empresa Petrocomercial filial de Petroecuador”, producida en la Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, realizó un estudio relacionado al mantenimiento que realiza una empresa en camiones y cómo afecta a la confiabilidad que presentan, registrando que la empresa no contaba con un plan de mantenimiento adecuado de los vehículos, lo que generaba que se malogre por el mismo desgaste diario que realizan, generando paradas cada vez más consecutivas desde su adquisición, después de 1 años de trabajo los vehículos comenzaron a presentar fallas, primero se registraron cada 2 meses por lo menos hubo una parada, luego del segundo año las paradas comenzaron a ser quincenal con 2 a 5 fallas por paradas. Tras un análisis se encontró que el personal no se encontraba capacitado y no se contaba con un plan de mantenimiento lo que generó todos los problemas presentados, en el diagnostico se encontró una confiabilidad del 61 %, lo que se considera bajo para poder prestar servicios a una empresa minera.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

López (2017), en su tesis “Propuesta de mejora del proceso de gestión de inventarios, utilizando el método de reposición ROP y la clasificación ABC, en la cadena de suministro de la empresa minera Colquisiri S.A. Lima, 2017”, producida en la Universidad Privada del Norte, Lima, Perú., determinó que, un correcto control de inventarios permitirá a la empresa planificar mejor su producción, orientado al objetivo de reducir los stocks y optimizar los costos sin perjudicar el nivel de servicio a los usuarios finales de la operación minera. En donde, al aplicar esta herramienta por nivel de costo y consumo valorizado en soles se pudo generar una matriz de celda que combinan ambos criterios y de esta manera se pudo identificar que el 16% de materiales constituye el 80% del costo total es decir si la empresa se enfoca en establecer políticas de inventario para los 791 materiales, estará optimizando un inventario de S/. 4 849 141,84. Asimismo, de la clasificación ABC a nivel de costo, se realizó una sub clasificación ABC a nivel de consumos, donde resulta una matriz costo vs consumo, permitiendo identificar que dentro del 80% un valor de S/. 2 535 484,90 que corresponde a la combinación costo vs consumo AC. Concluyendo que la clasificación permitirá establecer políticas de inventarios que permite mejorar el proceso de gestión de inventario en base a criterios de valor de consumo y costo. Políticas que permitan orientar y priorizar los recursos a los códigos de mayor costo y alta rotación y establecer planes de acción que en conjunto con logística y operaciones

mina y planta se puede reducir los inventarios ahorrando un capital inmovilizado de S/. 2 535 484,90.

Álamo (2018), en su tesis “Incidencia de la operatividad y confiabilidad de la maquinaria pesada para mejorar la productividad de la Empresa Obrainsa Superconcreto S.A. Olmos, 2018”, producida por la Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, realizó un estudio enfocado en la operatividad y disponibilidad de maquinaria pesada, registrando paradas a partir del segundo año, con una parada y 4 averías, encontrando que los problemas más consecuentes radican en que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, lo que causa que las maquinarias pesadas presenten fallas operativas por cambio de piezas del 60 %, a ello se suma la falta de control en los procesos y tareas por parte del personal. Las paradas que realizan las maquinarias pesadas generan a la empresa pérdida de dinero en cuanto a producción y costo de reparación, haciendo faltas procesos de mantenimientos para cada maquinaria pesada y que guarde relación con el tipo de actividad que realiza.

Álamo (2018), en su tesis “Incidencia de la operatividad y confiabilidad de la maquinaria pesada para mejorar la productividad de la Empresa Obrainsa Superconcreto S.A. Olmos, 2018”, producida por la Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, realizó un estudio enfocado en la operatividad y disponibilidad de maquinaria pesada, registrando paradas a partir del segundo año, con una parada y 4 averías, encontrando que los problemas más consecuentes radican en que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, lo que causa que las maquinarias pesadas

presenten fallas operativas por cambio de piezas del 60 %, a ello se suma la falta de control en los procesos y tareas por parte del personal. Las paradas que realizan las maquinarias pesadas generan a la empresa pérdida de dinero en cuanto a producción y costo de reparación, haciendo faltas procesos de mantenimientos para cada maquinaria pesada y que guarde relación con el tipo de actividad que realiza.

1.2.3. Antecedentes Locales

Cruz y Sánchez (2016), en su tesis “Plan de capacitación para mejorar el desempeño laboral del personal de la empresa publicidad y servicios generales Boga S.A. que labora en el campus UPAO de la ciudad Trujillo en el año 2016.”, producida en la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú., determinaron que, el plan de capacitación, tiene como fin adiestrar al personal en conocimientos básicos para el desarrollo de sus funciones, logrando mejoras significativas en cuanto al desempeño de los trabajadores en la organización de estudio, resaltando la importancia de las realizaciones de capacitaciones técnicas la cual está en función de los temas operativos y de prevención para mejorar los niveles de eficiencia y eficacia de los operarios al realizar cada actividad designada.

Álvarez (2017) en su tesis “El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa Emtrafesa S.A.C.”, producida en la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2017, determinó que, al aplicar el AMEF y un plan de mantenimiento, se incrementó la disponibilidad de un 77% a un 96%, asimismo, se aumentó la confiabilidad de un 86% a un 98% y la eficiencia mecánica de un 77% a un 96%. Lo

cual origina una reducción de 22 fallas, 315 intervenciones, 892.17 horas de reparación y logrando un aumento en el tiempo promedio entre fallas de 162.14 horas útiles. Para ello, se basó en el estudio del historial de mantenimiento de los buses de la empresa EMTAFESA SAC con tiempos para reparar de 0.33 horas hasta 6.50 horas por cada falla; con tiempos útiles o entre fallas de 4669.67 horas a 4753.5 horas, para lo cual se obtuvo un número de intervenciones en el rango de 1 a 42, estableciendo que el tiempo promedio para reparar varía entre 1.0 a 4.13 horas de reparación por falla, el tiempo promedio entre falla entre 110.14 hasta 4757.50 horas útiles/falla; originando una tasa de fallas mínima de 0.00021 y un máximo de 0.009079 fallas/por horas útiles y una tasa de relaciones con un mínimos de 0.0242 y máximo 1.0 fallas/horas de reparación.

1.3. Bases teóricas

Las siguientes definiciones corresponden a las herramientas utilizadas en la etapa diagnóstica.

- Niebel y Freivalds (2014) determinan que el Diagrama de Ishikawa, se utiliza para recoger de manera gráfica todas las posibles causas de un problema o identificar los aspectos necesarios para alcanzar un determinado objetivo (efecto). También se le denomina diagrama causa-efecto o Diagrama de Espina. Entre otras aplicaciones, puede utilizarse para conocer y afrontar las causas de los defectos, anomalías o reclamaciones; reducir costes; obtener mejoras en los procesos; mejorar la calidad de los productos, servicios e instalaciones; y establecer procedimientos normalizados, tanto operativos como de control.

- La Universidad del Valle (2010) señala que la Matriz de Priorización pretende contribuir a establecer prioridades en la toma de decisiones, con relación a nuevos temas que pueden ser objeto de desarrollo de una oferta innovadora. La necesidad de jerarquizar asuntos estratégicos es uno de los temas fundamentales para el desarrollo de capacidades institucionales de pensamiento estratégico, junto a la construcción de visiones de futuro integrales e innovadoras. Propone una serie de variables y criterios para priorizar una serie de temas estratégicos, de forma simple y flexible.
- De acuerdo a Marbán (2013), la encuesta “puede considerarse como una técnica o una estrategia entendida como un conjunto de procesos necesarios para obtener información de una población mediante entrevistas a una muestra representativa. La información se recoge de forma estructurada formulando las mismas preguntas y en el mismo orden a cada uno de los encuestados”
- Por tal razón, la recolección de datos de esta investigación será en base a la ENCUESTA; ya que esta permitirá recolectar la información específica e idónea sobre el problema a tratar, para esto se hará uso del CUESTIONARIO que de acuerdo a Silva y Tamayo (2014) “Contiene un conjunto de preguntas destinados a recoger, procesar y analizar información sobre hechos estudiados en poblaciones (muestras). Sus preguntas pretenden alcanzar información mediante las respuestas de la población” (p.10). Este será aplicado a los trabajadores de las áreas de logística y operaciones.

- Ruiz y Falco (2009) nos dice que el Diagrama de Pareto enuncia diciendo que el 80% de los problemas están producidos por un 20% de las causas. Entonces lo lógico es concentrar los esfuerzos en localizar y eliminar esas pocas causas que producen la mayor parte de los problemas. El diagrama de Pareto no es más que un histograma en el que se han ordenado cada una de las "clases" o elementos por orden de mayor a menor frecuencia de aparición. A veces sobre este diagrama se superpone un diagrama de frecuencias acumuladas.

Las siguientes definiciones corresponden a las herramientas de mejora que forman parte de este trabajo de investigación.

- Propuesta de Mejora. De acuerdo a Cárdenas (2007), el mejoramiento continuo es una herramienta fundamental para todas las empresas porque les permite renovar los procesos administrativos que ellos realizan, lo cual hace que las organizaciones estén en constante actualización; además permite que sean más eficientes y competitivas, fortalezas que le ayudarán a permanecer en el mercado. La propuesta de mejora, integra la decisión estratégica sobre cuáles son los cambios que deben incorporarse a los diferentes procesos de la organización, para que sean traducidos en un mejor servicio percibido. Dicha propuesta, además de servir de base para la detección de mejoras, debe permitir el control y seguimiento de las diferentes acciones a desarrollar, así como la incorporación de acciones correctoras ante posibles contingencias no previstas. Para su elaboración

será necesario establecer los objetivos que se proponen alcanzar y diseñar la planificación de las tareas para conseguirlos.

- El Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención. El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso (Salazar, 2019)

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla. La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia}$$

Ecuación 1. Criticidad

- RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico. El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios, pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:
 - ❖ Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos.
 - ❖ Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.

- ❖ Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.
 - ❖ Las acciones tendentes a evitar los fallos pueden ser de varios tipos:
 - ❖ Determinación de tareas de mantenimiento que evitan o reducen estas averías.
 - ❖ Mejoras y modificaciones en la instalación.
 - ❖ Medidas que reducen los efectos de los fallos, en el caso de que estos no puedan evitarse.
 - ❖ Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta, como una de las medidas paliativas de las consecuencias de un fallo.
 - ❖ Procedimientos operativos, tanto de operación como de mantenimiento.
 - ❖ Planes de formación.
- Casos de éxito de RCM. El RCM, actualmente, se puede aplicar en cualquier industria, las empresas que buscan aplicarlo es porque desean encontrar un plan preventivo de mantenimiento adecuado que mantenga las funciones de sus activos para los cuales fueron creados. Y no sólo empresas propiamente dichas, también se aplicó en la Armada de Estados Unidos de Norteamérica, que, mediante el estudio y aplicación de RCM, logró reducir la cantidad de horas hombre al año empleadas hacer mantenimiento preventivo de un tipo de aeronave de 435925 a 16000, es decir, se redujo en 63%, en otro tipo de aeronave se redujo de 272332 horas de mantenimiento al año a 88559 horas (-67%) y, en un tercer tipo de

aeronave, aumentó las horas de vuelo en un 28%. El RCM fue aplicado a una fábrica de productos lácteos, el cual tuvo como resultado la reducción del 50% de sus costos de mantenimiento y el desempeño de sus equipos mejoró también en 50%. El caso de una empresa minera, que, al utilizar esta herramienta, logró incrementar un 10% la disponibilidad de una flota de equipos móviles, tema muy importante para el rubro minero. Otro caso es el de una empresa siderúrgica que logró mejorar los resultados de una máquina cambiadora de rollos de 48% a 75%. En una ensambladora de automóviles se redujo en 62% las tareas de mantenimiento de baja frecuencia en la línea de producción. Y, por último, se toma el caso de una empresa de transmisión y distribución de energía que logró disminuir en 35% las tareas por mantenimiento preventivo.¹⁹ Por todos estos casos expuestos, en diversas industrias y contextos de operación, el RCM tuvo resultados muy beneficiosos, lo cual prueba lo conveniente que es para alcanzar nuestras metas de plan de mantenimiento.

- Mantenimiento preventivo, también denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra la falla. Según Ferren (2005), consiste en servicios de inspección, control conservación y restauración de un ítem con la finalidad de prevenir detectar o corregir defectos tratando de evitar fallas. Esto quiere decir que el mantenimiento preventivo es aquel que se realiza periódicamente para mayor vida útil de cada equipo al que se le aplique para un debido seguimiento.

Es un programa planificado, destinado asegurar el mínimo tiempo de paros no previstos y un máximo de tiempo de funcionamiento productivo, eficaz

y eficiente para equipos maquinarias y por supuesto los procesos de producción es decir se ejecutan para evitar la falla crítica. Esto significa que un programa de mantenimiento preventivo incluye dos actividades básicas:

- ❖ Inspección periódica de los equipos de industria, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción.
- ❖ Conservación de la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren aun en etapa incipiente.

Martin (2005), un programa de mantenimiento preventivo tiene entre otras las siguientes ventajas:

- a. Con el tiempo se disminuye los paros imprevistos de equipos, que son remplazados por paros programados.
- b. Se mejora notoriamente la eficiencia de los equipos y por lo tanto de la producción.
- c. Después del tiempo de estabilización del programa, se obtiene una reducción de costos de la siguiente manera:
 - ❖ Al disminuir las fallas repetitivas.
 - ❖ Por disminución de duplicación de reparaciones: una para desvarar el equipo y otra para repararlo adecuadamente.
 - ❖ Por disminución de grandes reparaciones, al programar oportunamente las fallas incipientes.
 - ❖ Por mejor control del trabajo debido a la utilización de programas y procedimientos adecuados.

- ❖ Menores costos de producción por menos cantidad de productos defectuosos, debido a la correcta graduación de los equipos.
 - ❖ Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
 - ❖ Disminución de tiempos muertos, tiempo de parada de equipos/maquinas.
 - ❖ Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto, sus costos, puestos que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Sistema ABC. Mora y Martiliano (2010) afirman que es un modelo diseñado para la clasificación del portafolio de productos de la empresa con base en las participaciones de cada ítem y/o línea de producto en el movimiento de salida hacia los clientes finales, es decir, los niveles de ventas.

Los niveles de clasificación de inventarios con el método ABC

❖ Artículos con rotación A

En cantidad, suelen ocupar el 20% de los inventarios, pero son los que más rotación experimentan y, por tanto, tienen una importancia estratégica. Las referencias A son los productos en los que la empresa tiene invertido más presupuesto y generan el 80% de los ingresos, por lo que es prioritario evitar las roturas de stock.

También pertenecen a este grupo aquellos SKU que, por sus características, son críticos para el buen funcionamiento de la empresa. En cualquier caso, es recomendable mantener un control de stock exhaustivo de las referencias clasificadas como A con inventarios frecuentes, o incluso permanentes.

A la hora de ubicar las referencias A en el almacén, tienden a situarse en zonas bajas, de acceso directo y fácil para el operario, así como cerca de los muelles de salida.

❖ Artículos con rotación B

Comprenden la franja de rotación media y suelen representar, en cantidad, el 30% de los inventarios. Estos artículos se renuevan con menos velocidad, por lo que su valor y relevancia es menor frente a los productos A.

En este caso, hay que prestar atención a la evolución de las referencias clasificadas como B por si pueden dar el salto a la rotación A o, en cambio, convertirse en productos C. El aprovisionamiento de este tipo de stocks puede funcionar con la regla del stock mínimo/máximo, en lugar de estar sujetos a un control exhaustivo sobre las compras y emitir pedidos de modo continuo (como bien puede ocurrir con los A).

En el almacén, se ubican en zonas de altura intermedia cuyo acceso no es tan directo como en las posiciones que ocupan los productos A, pero tampoco resultan ser las más inaccesibles.

❖ Artículos con rotación C

En su conjunto, los productos C son los más numerosos, llegando a suponer el 50% de las referencias almacenadas. Sin embargo, también son los menos demandados por parte de los clientes.

Al no ser artículos estratégicos, los recursos dedicados a controlar estas referencias pueden ser más modestos y el reabastecimiento suele ajustarse con stocks de seguridad. En cualquier caso, es aconsejable vigilarlos para que no terminen formando un inventario obsoleto y de nula rotación. La cuestión que se suscita con los productos C es: ¿conviene invertir parte del presupuesto en mantener stock de estas referencias?

En la instalación de almacenaje, como se necesita acceder a ellos de manera esporádica, ocupan las zonas más altas o menos accesibles, así como las zonas más alejadas de los muelles de salida.

- La capacitación se define como el conjunto de actividades didácticas, orientadas a ampliar los conocimientos, habilidades y aptitudes del personal que labora en una empresa. La capacitación les permite a los trabajadores poder tener un mejor desempeño en sus actuales y futuros cargos, adaptándose a las exigencias cambiantes del entorno. Esta es vista como un proceso educativo a corto plazo, emplea técnicas especializadas y planificadas por medio del cual el personal de la empresa obtendrá conocimientos y habilidades necesarias para incrementar su eficacia en el logro de los objetivos que haya planificado la organización para la cual se desempeña. Hoy en día, es bastante común encontrarse con capacitaciones

para empresa, o que ellas mismas organicen cursos de capacitación técnica para que sus empleados tengan un conocimiento amplio sobre su área de trabajo, las posibles condiciones nuevas que aparezcan dentro del mercado, avances tecnológicos de su rama laboral y todo lo que tenga que ver con el cargo que ejerce dentro de la empresa. Es un adiestramiento necesario, útil y que genera beneficios personales a cada trabajador que realiza su capacitación para el trabajo (Concepto Definición, 2020)

- Según Pérez, Rodríguez y Molina (2002) la rentabilidad es el rendimiento que se produce después de realizar una inversión en un determinado tiempo; es decir una empresa es rentable si sus ingresos son mayores que sus egresos, esto es una forma de comparar los medios que se han utilizado en ello y la renta que se ha generado fruto de esa inversión.

1.4. Definición de Términos

- El Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación (Salazar, 2019)
- Rentabilidad: La rentabilidad es cualquier acción económica en la que se movilizan una serie de medios, materiales, recursos humanos y recursos financieros con el objetivo de obtener una serie de resultados. Es decir, la rentabilidad es el rendimiento que producen una serie de capitales en un determinado periodo de tiempo. Es una forma de comparar los medios que se han utilizado para una determinada acción, y la renta que se ha generado fruto de esa acción (Nestares, 2017)

- Falla: Cuando la pieza queda completamente inservible, o cuando a pesar de que funciona no cumple su función satisfactoriamente (Nestares, 2017)
- Disponibilidad: Es una medida que nos indica cuánto tiempo está disponible ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase. Típicamente se expresa en porcentaje (Nestares, 2017)
- Mantenimiento predictivo: Conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo (Nestares, 2017)
- Confiabilidad: Es la capacidad de una máquina, mecanismo o sistema de desempeñar una función requerida en las condiciones establecidas. Para que esto ocurra se deben garantizar las condiciones de funcionamiento, las características del montaje y los modos de operación (Nestares, 2017)
- Ciclo de Vida Útil: La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración (Nestares, 2017)
- Costos Integral de mantenimiento: El coste Integral de mantenimiento tiene en cuenta todos los factores relacionados con una avería y no solo los directamente relacionados con el mantenimiento (Nestares, 2017)
- Capacitación técnica: Se trata de acciones de corta duración, entre dos y cuatro semanas, cuyo propósito es promover la formación práctica mediante el desarrollo de conocimientos técnicos y habilidades que puedan aplicarse al trabajo diario (Unión Iberoamericana de Municipalistas, 2019)

- Método ABC: permite organizar la distribución de las distintas mercancías dentro del almacén a partir de su relevancia para la empresa, de su valor y de su rotación. Con este sistema se prioriza la adquisición y colocación de los productos no por su volumen o cantidad, sino por el aporte económico que suponen para la empresa (Mecalux, 2019)

1.5. Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística, sobre la rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar el impacto de la propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística sobre la rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.

1.6.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento y logística sobre la rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.
- Desarrollar metodologías, técnicas y herramientas de la Ingeniería Industrial en la gestión de mantenimiento y logística sobre la rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.
- Evaluar el impacto económico de la propuesta de mejora.

1.7. Hipótesis

La propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística incrementa la rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.

1.8. Justificación

El estudio se justifica en ciertos criterios que se describen a continuación, respecto a la justificación teórica, dentro de este aspecto el desarrollo del estudio permitirá al investigador indagar información en diferentes fuentes bibliográficas para dar solución a la problemática que se presenta en la empresa y lograr mejorar la confiabilidad de las maquinarias pesadas, además se respetará las normas de citados para su desarrollo.

Además de ello se tiene a la justificación práctica, al desarrollar el estudio se contará con resultados estadísticos, los cuales serán de gran importancia para la toma de decisiones y las evidencias de mejorar que tenga el plan de mantenimiento basado en un RCM y ver efecto que tendrá en la confiabilidad de la maquinaria pesada.

Así también la justificación valorativa, en el proceso de desarrollo del estudio se considera importante para la empresa porque favorece a la rentabilidad de la empresa y mejorar los procesos operativos, respecto al mantenimiento de las maquinarias seleccionadas para el estudio.

Finalmente, la justificación académica, en el desarrollo del estudio permite al investigador experimental con un caso práctico sobre la mejorar de procesos, a través del empleo del RCM para mejorar la confiabilidad de maquinarias pesadas y

experimentales sus conocimientos adquiridos en los ciclos académicos que corresponde la carrera de ingeniería industrial.

1.9. Aspectos Éticos

La información para esta tesis fue proporcionada por los directivos de la empresa y se utilizó con su consentimiento.

El tesista se compromete a dar uso apropiado a esta información y a guardar absoluta reserva de los temas financieros y estratégicos que los directivos compartieron con ellos.

El personal operativo en todo momento estuvo al tanto de la naturaleza de la presencia del tesista en la planta. Su colaboración fue solicitada expresamente por los directivos.

1.10. Variables

1.10.1. Variable independiente

Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística.

1.10.2. Variable dependiente

Rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.

1.11. Operacionalización de Variables

Tabla 1.
Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Fórmula
Independiente Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística.	La propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento, es el conjunto de actividades desarrolladas con el fin de asegurar que cualquier activo continúe desempeñando las funciones deseadas o de diseño, de la manera prevista. La gestión logística, es la gestión del flujo de materias primas, productos, servicios e información a lo largo de toda la cadena de suministro de un producto o servicio.	La propuesta permite mejorar las gestiones de mantenimiento y logística, incrementando con ello, la rentabilidad de la empresa	MANTENIMIENTO	Disponibilidad	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
				Confiabilidad	$e^{-\gamma t}$
			LOGÍSTICA	Consumo de diesel	$\frac{\text{Galones de diesel consumidos}}{\text{Horas de operación}}$
				Compras reactivas	$(\text{Costo reactivo} - \text{Costo std}) \times \text{Compra}$
Dependiente Rentabilidad	Obtención de ganancias a partir de una cierta inversión.(RAE, 2012)	Capacidad de obtener ganancias a partir de una inversión, aplicando la propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y logística.	UTILIDAD SOBRE VENTAS	Capacidad que tiene la empresa de producir beneficios en relación a las ventas que realiza en su actividad normal .	$\frac{\text{Utilidad}}{\text{Ventas netas}}$

Fuente. Elaboración Propia

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo, aplica herramientas de mejora en la gestión de mantenimiento y logística. Es de investigación por el Diseño es Diagnóstica y propositiva, porque, como dice Gallego (2017), utiliza un conjunto de técnicas y procedimientos con la finalidad de diagnosticar y resolver problemas fundamentales; encontrar respuestas a preguntas científicamente preparadas; estudiar la relación entre factores y acontecimientos o a generar conocimientos científicos, que conlleven a incrementar la rentabilidad de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.

2.2. Técnicas e Instrumentos

En la siguiente tabla se detallan las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio:

Tabla 2.
Materiales, instrumentos y métodos de recolección de datos

TÉCNICA	JUSTIFICACIÓN	INSTRUMENTOS	APLICADO EN
Observación de campo	Permitió observar las áreas de la empresa, las actividades, procesos y problemas en ellos.	-Cuaderno de apuntes -Cámara fotográfica -Cronómetro	En el área de mantenimiento y logística.
Entrevista	Permitió obtener mayor detalle del funcionamiento y gestión de la empresa.	-Guía de entrevista-cuestionario -Cuaderno de apuntes. -Cámara fotográfica	En el sub gerente general
Análisis de documentos	Permitió descifrar información solicitada obteniendo una base de datos de los procesos de producción.	-Microsoft Excel -Laptop -Cuaderno de apuntes	Base de datos de la empresa en estudio.
Encuesta	Permitió analizar los factores que intervienen en el mantenimiento de los equipos.	-Cámara fotográfica -Guía de encuesta -Lapiceros	Personas que labora en el área de mantenimiento.

Fuente. Elaboración propia

Observación directa

Objetivo:

Identificar fallas críticas en el área de mantenimiento y logística y las consecuencias que este genera con respecto a su rentabilidad.

Procedimiento:

Mantener un seguimiento continuo, toma de tiempos, entre otros; de los procesos en las áreas de mantenimiento y logística de la empresa.

Instrumentos:

Breviario de apuntes y lápices.

Entrevista

La entrevista se realizará al dueño de la empresa.

Objetivo:

Determinar la situación actual de la empresa, conocer con mayor detalle el funcionamiento y gestión de la empresa. De tal modo, puntualizar los problemas fundamentales en las áreas de mantenimiento y logística que están directamente relacionados con la baja rentabilidad.

Parámetros:

Duración: 45 minutos

Lugar: Oficina del gerente

Procedimiento:

Con el fin de obtener la información necesaria para conocer dicha problemática, se procede a realizar una sucesión de preguntas.

Instrumentos:

Guía de entrevista, cámara fotográfica y lapiceros.

Análisis de documentos

Objetivo:

Indagar la problemática en documentos físicos y virtuales, que mantenga la empresa y contrastarlos con lo observado.

Procedimiento:

Organizar los instrumentos adecuados para realizar el análisis de documentación histórica.

Instrumentos:

USB, laptop, breviario de apuntes, lapicero.

Encuesta

Objetivo:

Obtener información de todos los procesos del área de mantenimiento y logística para verificar el estado de las maquinarias y el empleo de estas. Se aplican las encuestas a expertos para conocer más de las causas raíces.

Parámetros:

Duración: 50 minutos

Lugar: Empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz.

Procedimiento:

Realizar una serie de preguntas al sub gerente general, fin de conocer los puntos resaltantes del área.

Instrumentos:

- Guía de encuesta, lapiceros y cámara fotográfica.
- Estadísticas de mantenimientos oficiales.
- Estadística aplicada.

Los resultados obtenidos se muestran mediante las siguientes herramientas:

Tabla 3.
Instrumentos y métodos de procesamiento de datos

Herramienta	Descripción
Diagrama de Ishikawa	Se elabora un Diagrama Ishikawa para plasmar las causas raíces.
Matriz de priorización	Se utiliza con el fin de ordenar las causas raíces halladas de acuerdo a su impacto económico.
Pareto	Esta herramienta permite obtener las causas raíces que generan un 80% de impacto en el problema de baja rentabilidad.
Matriz de indicadores	Se elaboran indicadores para medir el impacto de la mejora en cada causa raíz.
Diagrama de análisis de procesos	Se elabora para determinar las actividades productivas e improductivas presentes en el proceso de producción.

Fuente. Elaboración propia

Procesamiento de información

Para analizar los datos se ha utilizado Microsoft Office Excel, para el cálculo de indicadores y valores en general que forman parte de la presente investigación.

2.3. Procedimiento

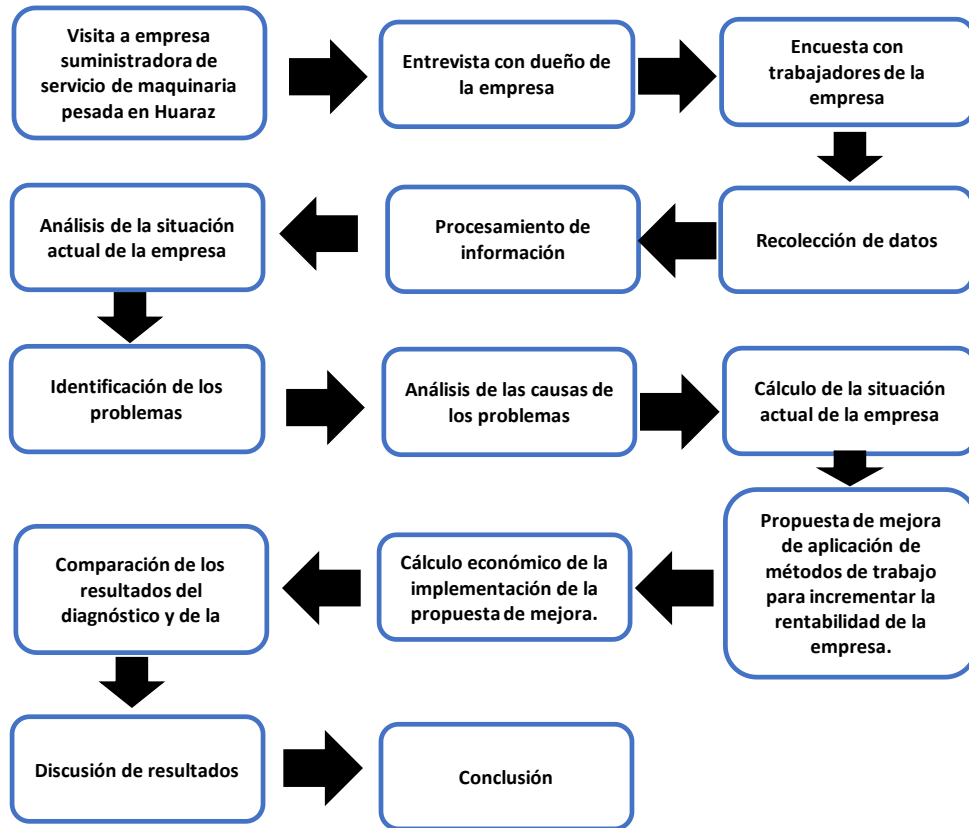


Figura 4. Procedimiento de trabajo en la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en Huaraz

Fuente. Elaboración propia

Generalidades de la empresa

2.3.1. Misión y Visión

Misión: Somos una empresa que contribuye al desarrollo de la minería a través de la renta de maquinaria pesada para el movimiento de tierras y de traslado de personal, esforzándonos cada día en satisfacer a nuestros clientes con eficiencia y profesionalismo.

Visión: Liderar las empresas de renta de maquinaria pesada, siendo reconocidos por la comunidad por nuestra capacidad, calidad y cumplimiento en el servicio que brindamos.

2.3.2. Organigrama

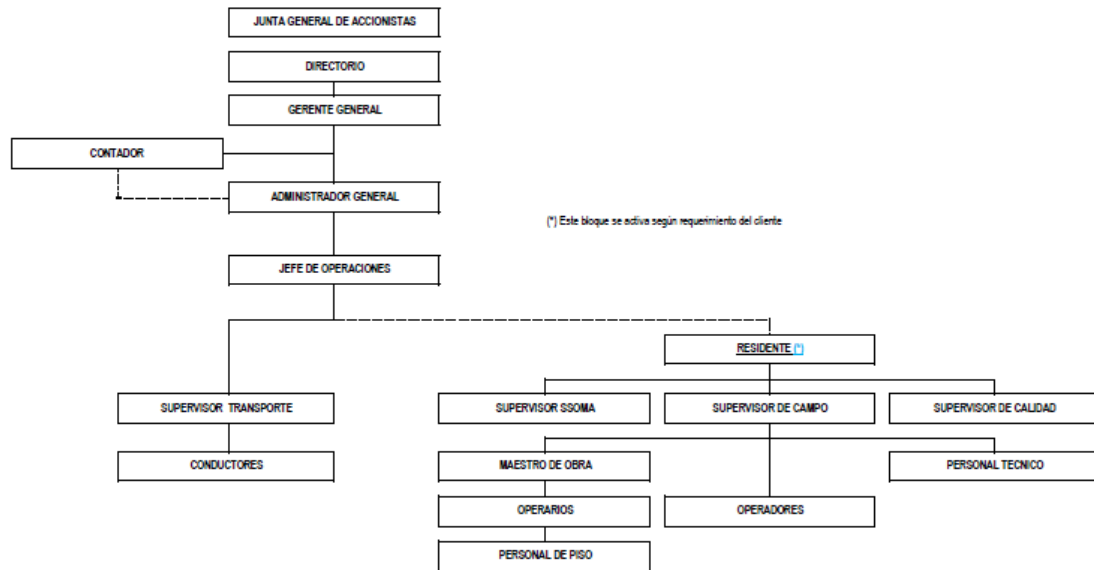


Figura 5. Organigrama de la empresa

Fuente. La empresa

2.3.3. Distribución de la Empresa

2.3.3.1 Maquinaria

Excavadora	Caterpillar	3
330D2L		
Retroexcavadora	Caterpillar	1
420 F		
Volquete Volvo de 15 Tons		10
Rodillo CAT CS56		1

2.3.3.2 Layout

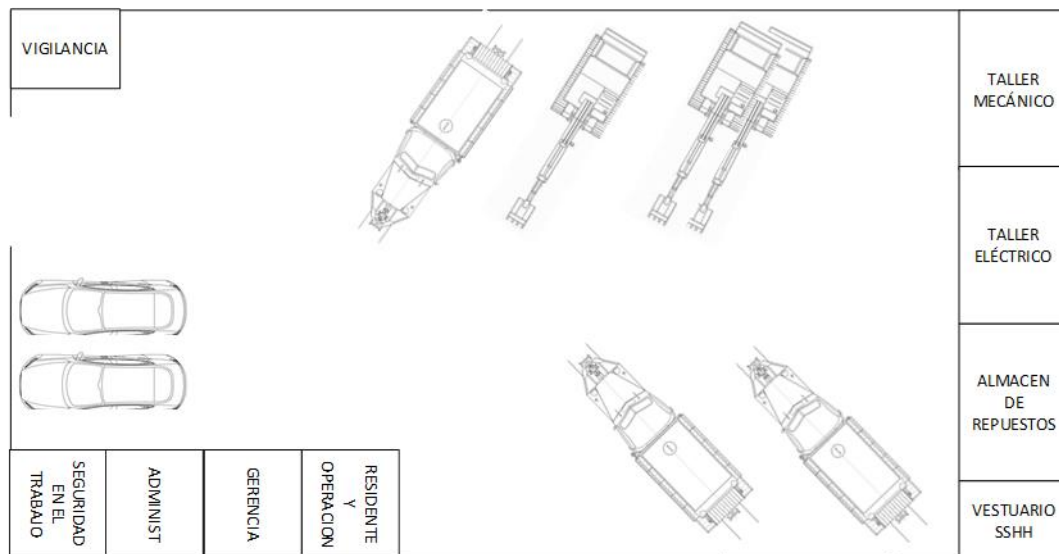


Figura 6. Layout actual

Fuente. Elaboración propia

2.3.4. Clientes

- Minera Barrick Misquichilca
- Compañía minera Lincuna S.A.

2.3.5. Proveedores

- Ferreycorp
- Shell del Perú
- Factoría Industrial
- Divemotor
- Manucci Motors
- Servillatas Michelin
- Multillantas Johnny
- Ingercas . Alimentos
- Econsi . Baños químicos
- Aconsa plataformas de traslado de equipos
- Cosapi. Maquinaria
- Komatsu. Maquinaria pesada
- Atlas Copco. Compresoras.

2.3.6. Principales Productos y/o servicios

- Movimiento de tierras
- Transporte de personal

2.3.7. Diagrama de Proceso productivo de la Empresa

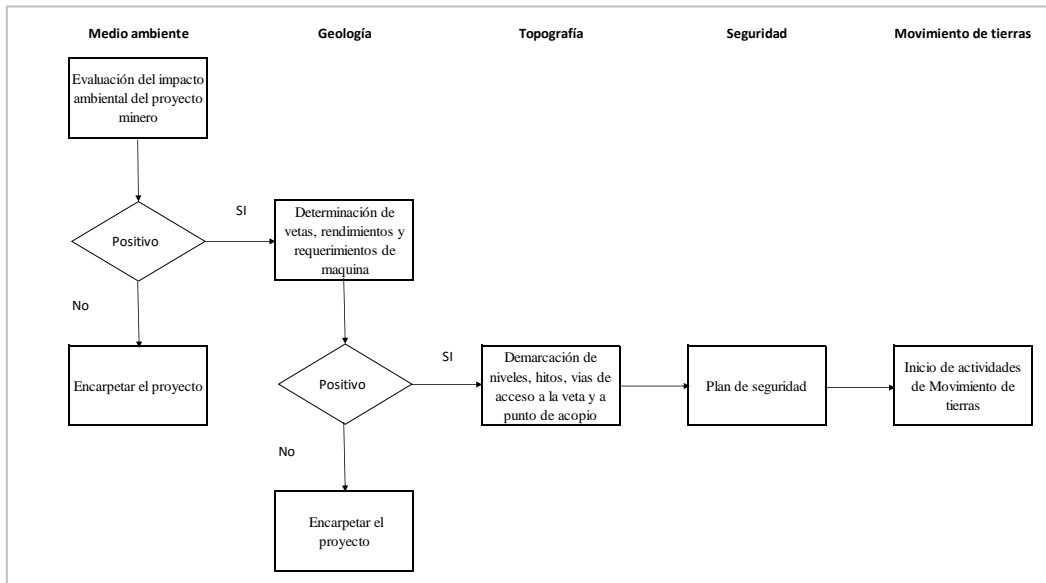


Figura 7. Diagrama de operaciones actual

Fuente. Elaboración propia

2.3.8. FODA

Tabla 4.
FODA de la empresa

Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> • Prestigio en el medio. • Experiencia en operaciones minera. • Pool versátil de maquinaria. • Acceso rápido a maquinaria tercerizada • Clientes fidelizados 	Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> • Nuevos clientes • Nuevos mercados • Nuevos productos • Nueva tecnología • Renovar flota • Capacitación
Debilidad <ul style="list-style-type: none"> • Baja disponibilidad de maquinaria. • Baja confiabilidad de maquinaria. • Sin acceso a rastreo GPS. • Deficiente gestión de inventario de repuestos • Altos costos fijos • Alto consumo de combustible 	Amenazas <ul style="list-style-type: none"> • Obsolescencia • Nuevos competidores • Restricciones medio ambientales • Cierre de minas • Caída en exportaciones de mineral • Competidores con maquinaria más eficiente

Fuente. Elaboración Propia

2.3.9. VSM de la empresa

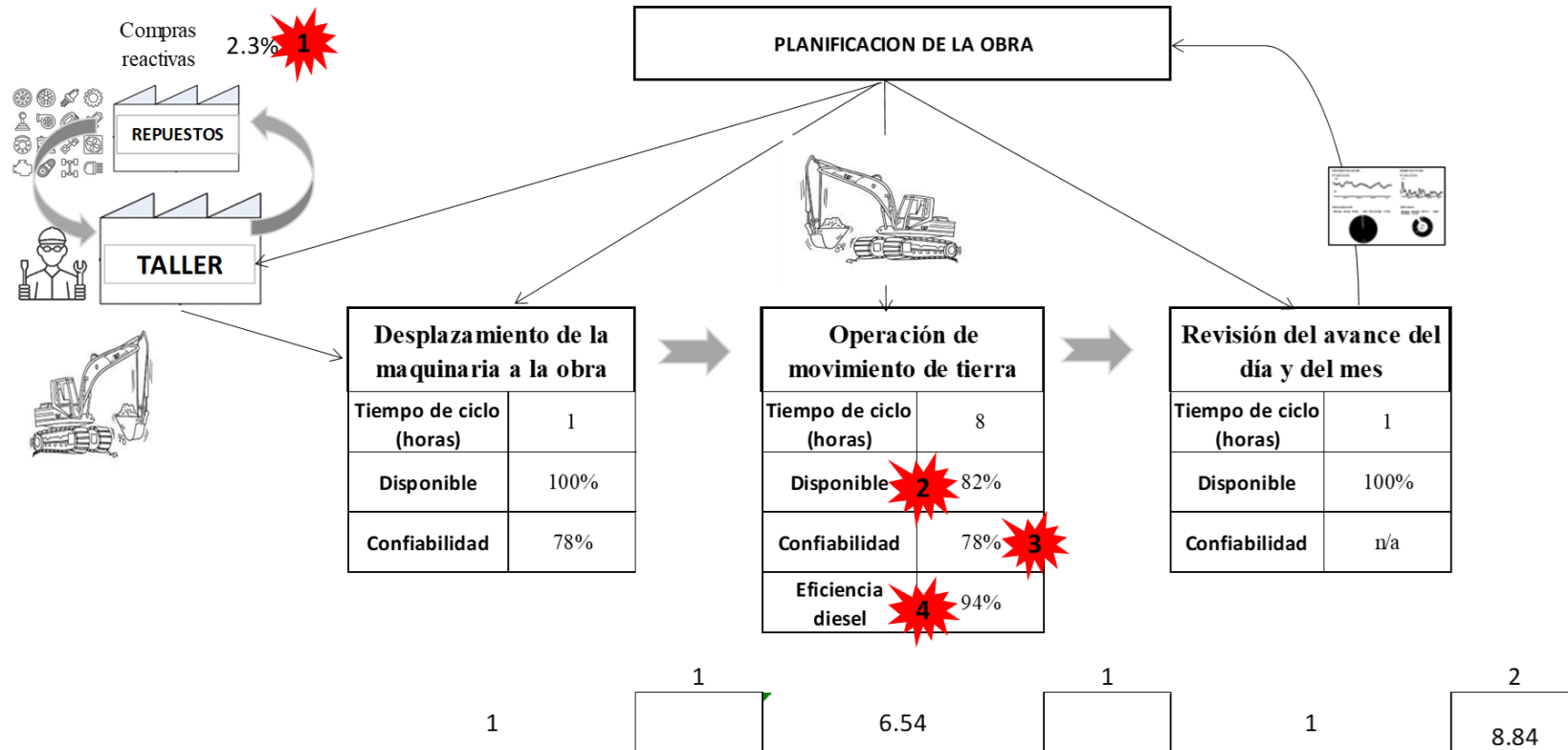


Figura 8. VSM de la empresa

Fuente. Elaboración propia

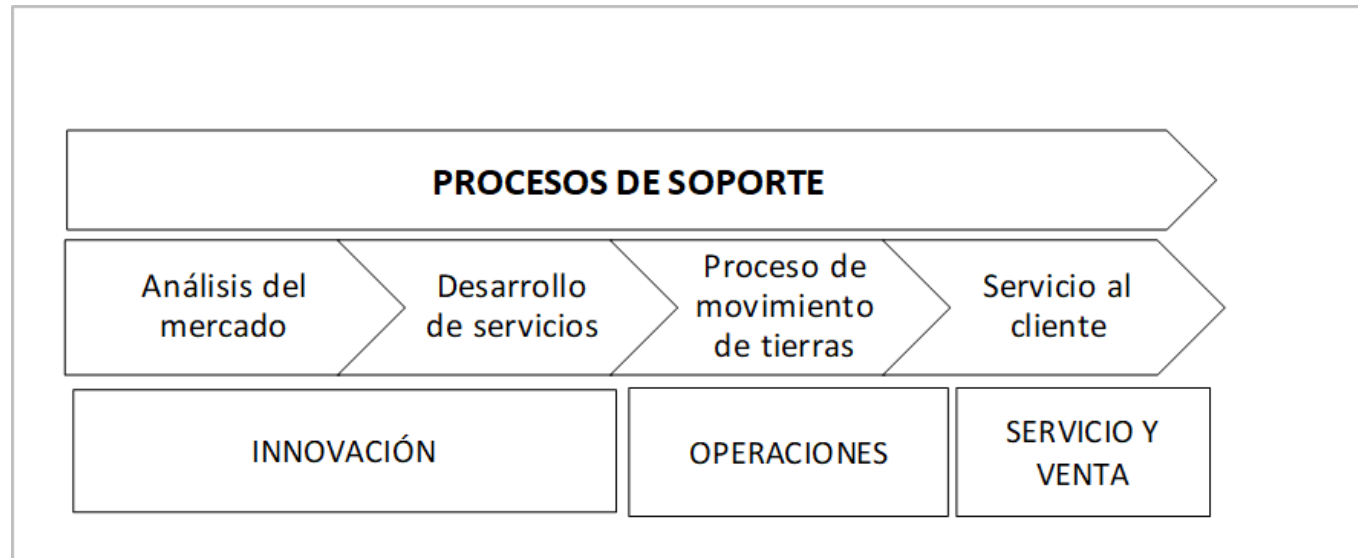


Figura 9. Cadena de Valor

Fuente. Elaboración propia

2.3.10. Mapa de Procesos

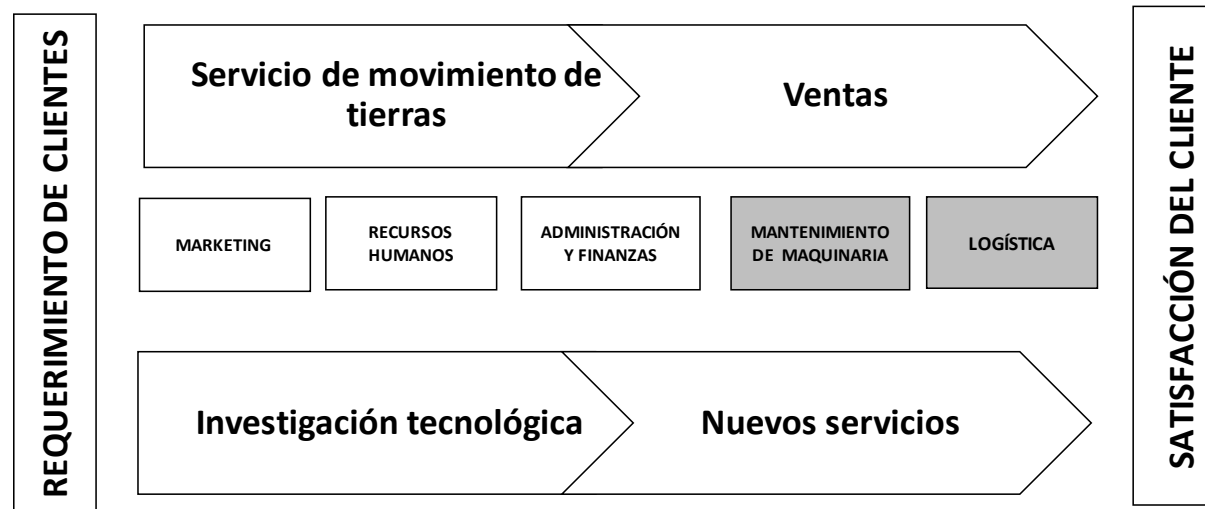


Figura 10. Mapa de procesos

Fuente. Elaboración propia

Diagnóstico de problemáticas principales

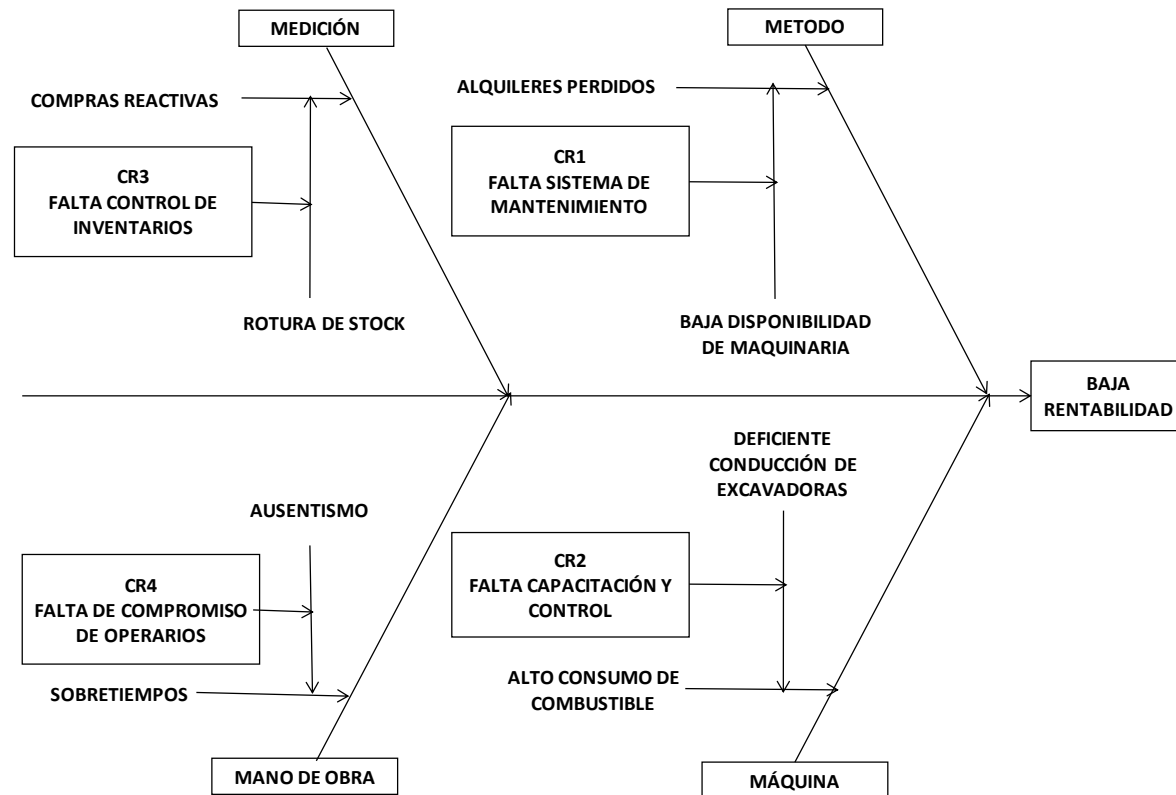


Figura 11. Diagrama Causa Efecto de la problemática de la empresa

Fuente. Elaboración propia

Matriz de Priorización de las causas raíces

La siguiente priorización de las causas raíces se hizo según su impacto económico.

Tabla 5.
Priorización de causas raíz por impacto económico

		Impacto (S/)	%	% Acum
CR1	Falta sistema de mantenimiento	44,844	64%	64%
CR2	Falta capacitación y control	11,310	16%	80%
CR3	Falta control de inventarios	10,780	15%	95%
CR4	Falta de compromiso operarios	3,600	5%	100%
		S/ 70,533		

Fuente. Elaboración propia

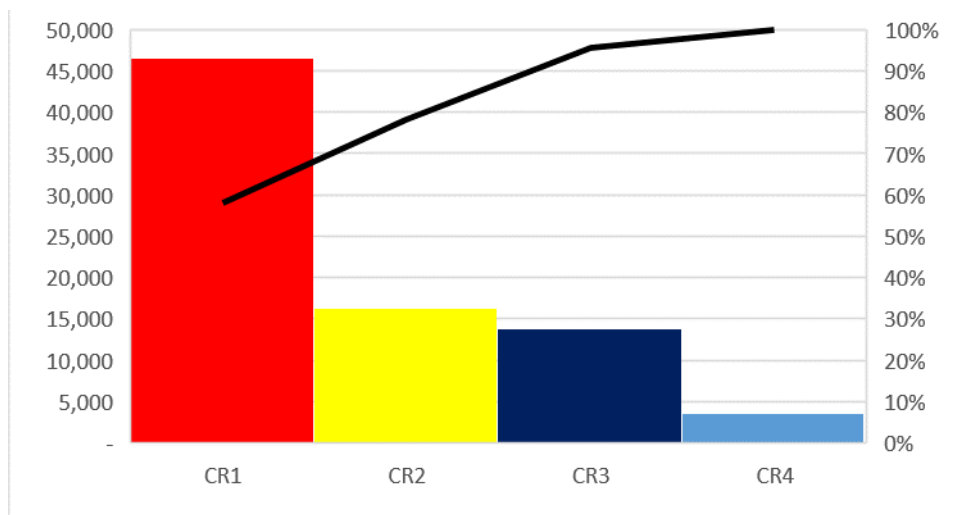


Figura 12. Pareto de causas raíces de la problemática

Fuente. Elaboración propia

Identificación de indicadores

CAUSA RAZ	INDICADOR	FÓRMULA	VA	PÉRDIDA ACTUAL	VM	PÉRDIDA POST MEJORA	BENEFICIO	HERRAMIENTA DE MEJORA	METODOLOGÍA	INVERSIÓN
Falta sistema de mantenimiento	Disponibilidad	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	82.43%	S/44,844	87.00%	S/33,181	S/11,663	Gestión mantenimiento	AMFE Árbol de causas Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Capacitación S/8,000 Rastreo satelital de flota S/5,025
Falta capacitación y control	Exceso de consumo	$(\text{Consumo real} - \text{Consumo std}) / \text{Consumo std}$	4.43%	S/11,310	1.00%	S/2,552	S/8,758	Gestión de RRHH	Capacitación técnica de manejo de maquinaria pesada	
Falta control de inventarios	Compras reactivas	$\sum \text{Compras reactivas} \times (\Delta \text{ precios})$	2.0%	S/10,780	0.5%	S/2,650	S/8,129	Gestión logística	ABC Criticidad	Capacitación gestión de inventarios S/6,000

Figura 13. Matriz de indicadores

Fuente. Elaboración propia

2.4. Solución propuesta

2.4.1. Descripción de causas raíces

Descripción de la Causa Raíz 1: Falta sistema de mantenimiento

El ámbito en el que se desempeña la maquinaria pesada en los linderos de la mina, es agreste y el mantenimiento preventivo que se aplica, no es lo suficientemente efectivo para los requerimientos del cliente.

La disponibilidad promedio es 81.7% y afecta directamente la rentabilidad de la empresa, pues representa jornadas no realizadas y, por tanto, no pagados.

La mina exige que los equipos tengan una confiabilidad mínima de 80% y la que tiene actualmente los equipos es 77.8%. Esto afectaría la continuidad de los servicios dado por la empresa o implicaría algún tipo de penalidad, en caso no se muestre una mejora.

Descripción de la Causa Raíz 2: Falta capacitación y control

Una excavadora, tiene una capacidad teórica que varía con la clase de tierra y con el tamaño de sus aditamentos. En el caso de la 330 D2L, el cucharón tiene capacidad de 2.2 m³ y se estima, puede remover hasta 60 M³ por hora.

Durante el trabajo diario, la maquina hace desplazamiento con carga o en vacío; para adelante o en reversa; en terreno plano o escarpado y con el cucharón en alto o abajo.

Un manejo poco prolijo, incrementa el rendimiento de combustible. Las aceleradas y frenadas bruscas desperdician diesel hasta en un 5%. El desplazarse en el cambio inapropiado también incrementa el consumo.

Con los controles actuales es complicado poder atender esta deficiencia, pues solo se limitan a verificar el contómetro y contrastarlo con el consumo de diésel registrado. No hay actividades proactivas para la solución.

En consecuencia, se plantea actualizar a los operadores de la excavadora, en el correcto manejo, de modo que se reduzca el consumo de diésel, que excede en más de 4% a lo esperado.

Aprovechar la tecnología actual, de costos accesibles, es el medio.

Descripción de la Causa Raíz 3: Falta control de inventario

Los repuestos son costosos y los criterios para mantener los inventarios apropiados, observando este detalle, suelen fallar.

Esto ocasiona que se deba recurrir al *canibalismo* de otras máquinas, momentáneamente sin uso o a compras reactivas, a proveedores de la zona, que, por ser una región minera, suelen estar siempre bien abastecidos, pero sus precios son mayores que los habituales, que da el proveedor en Lima.

El año 2019 el sobre costo de las compras reactivas fue S/10,780, equivalentes al 2.03% del total de los materiales comprados, incluidos los destinados a maquinaria que no forma parte de este proyecto, como volquetes y rodillos.

2.4.2. Monetización de pérdidas

Monetización de la CR1: Falta sistema de mantenimiento

El cliente factura a la empresa las horas efectivamente trabajadas. Es decir, paga de acuerdo a la Disponibilidad de la maquinaria.

Horas anuales programadas por excavadora	2,880
Excavadoras en el proyecto	03
Total horas-máquina programadas	8,640
Disponibilidad promedio	81.74%
Horas efectivas	7,062
Horas perdidas	1,578
Utilidad por hora-máquina	S/29.54
Lucro cesante	S/46,614

Monetización de la CR2: Falta capacitación y control

Las excavadoras tienen un consumo horario estándar de diésel, de acuerdo al nivel de exigencia.

Se determinó en primer lugar el porcentaje de la jornada laboral, que se desempeña a nivel bajo, medio y alto.

En primer lugar, se hizo un muestreo aleatorio corto, para determinar el tamaño de muestra. En este caso solo se muestreo la posibilidad que la máquina esté funcionando o esté parada.

	Excavadora A		Excavadora B		Excavadora C	
	Operando	Parada	Operando	Parada	Operando	Parada
1	O		O		O	
2	O		O		O	
3	O		O		O	
4	O		O			P
5		P		P	O	
6	O		O		O	
7	O		O		O	
8	O		O		O	
9	O		O		O	
10	O			P		P
11	O		O		O	
12	O		O		O	
13	O		O		O	
14	O		O			P
15	O		O		O	
16	O		O		O	
17		P	O		O	
18		P	O		O	
19	O		O		O	
20	O		O		O	
	17.000	3.000	18.000	2.000	17.000	3.000
	85%	15%	90%	10%	85%	15%
Número observaciones		49		35		49

$$n = (Z^2_{\alpha/2}) (p \cdot q) / (B^2) = \text{número de observaciones}$$

Figura 14. Cálculo número de muestra

Fuente. Elaboración propia

Se determinó que el tamaño de muestra representativo es 49. Con esta consideración se hizo un muestreo amplio, desde las 7:00 AM, hasta el mediodía.

El resultado se observa a continuación:

Muestreos/hora				12				
Aleatorios	Tiempo entre muestreos	Momento de muestreo	Hora de muestreo	Baja capacidad Excavado superficial y traslado a nivel	Media capacidad Carga continua con cucharón al 60%	Alta capacidad Carga continua, excavar roca y traslados >200 M	Parada momentanea	
0.568	4.194	4.194	07:04:12 a.m.	X				
0.337	2.056	6.250	07:06:15 a.m.		X			
0.653	5.288	11.537	07:11:32 a.m.		X			
0.129	0.693	12.230	07:12:14 a.m.			X		
0.145	0.782	13.012	07:13:01 a.m.			X		
0.273	1.591	14.603	07:14:36 a.m.			X		
0.366	2.277	16.880	07:16:53 a.m.	X				
0.479	3.258	20.138	07:20:08 a.m.				X	
0.586	4.404	24.541	07:24:32 a.m.			X		
0.079	0.413	24.955	07:24:57 a.m.		X			
0.948	14.784	39.739	07:39:44 a.m.	X				
0.780	7.559	47.298	07:47:18 a.m.	X				
0.767	7.293	54.591	07:54:35 a.m.		X			
0.122	0.648	55.239	07:55:14 a.m.			X		
0.698	5.979	61.218	08:01:13 a.m.			X		
0.321	1.933	63.152	08:03:09 a.m.		X			
0.990	22.954	86.105	08:26:06 a.m.		X			
0.272	1.585	87.690	08:27:41 a.m.				X	
0.214	1.205	88.895	08:28:54 a.m.	X				
0.683	5.742	94.637	08:34:38 a.m.	X				
0.621	4.851	99.488	08:39:29 a.m.		X			
0.266	1.546	101.035	08:41:02 a.m.			X		
0.516	3.633	104.667	08:44:40 a.m.			X		
0.884	10.788	115.456	08:55:27 a.m.			X		
0.754	7.010	122.466	09:02:28 a.m.	X				
0.601	4.591	127.057	09:07:03 a.m.			X		
0.242	1.383	128.440	09:08:26 a.m.	X				
0.440	2.903	131.343	09:11:21 a.m.		X			
0.810	8.317	139.659	09:19:40 a.m.				X	
0.851	9.524	149.183	09:29:11 a.m.	X				
0.821	8.613	157.796	09:37:48 a.m.		X			
0.449	2.976	160.772	09:40:46 a.m.			X		
0.249	1.430	162.202	09:42:12 a.m.			X		
0.728	6.509	168.711	09:48:43 a.m.				X	
0.221	1.252	169.963	09:49:58 a.m.	X				
0.194	1.076	171.039	09:51:02 a.m.			X		
0.429	2.803	173.843	09:53:51 a.m.			X		
0.562	4.129	177.972	09:57:58 a.m.		X			
0.573	4.251	182.223	10:02:13 a.m.		X			
0.388	2.453	184.676	10:04:41 a.m.			X		
0.711	6.207	190.883	10:10:53 a.m.			X		
0.154	0.835	191.718	10:11:43 a.m.			X		
0.971	17.680	209.397	10:29:24 a.m.			X		
0.686	5.786	215.183	10:35:11 a.m.			X		
0.399	2.543	217.726	10:37:44 a.m.			X		
0.730	6.540	224.267	10:44:16 a.m.			X		
0.955	15.493	239.760	10:59:46 a.m.		X			
0.017	0.086	239.845	10:59:51 a.m.			X		
0.596	4.529	244.375	11:04:22 a.m.	X				
0.221	1.248	245.623	11:05:37 a.m.		X		X	
				11	13	22	5	
				21.6%	25.5%	43.1%	9.8%	

Figura 15. Muestreo de nivel de exigencia de la máquina

Fuente. Elaboración propia

Utilizando los porcentajes del nivel de exigencia de la figura anterior y las referencias de la plataforma informática especializada ventamaquinaria.mx, sobre el consumo de combustible según estos niveles, se estima el consumo horario promedio de diésel, que tienen las excavadoras en este proyecto.

Tabla 6.
Estimación del consumo de diésel según nivel de exigencia promedio

Nivel operación	% de la jornada	Horas/día	Consumo std litros/hora	Consumo std galones/hora	Consumo Galones/8 horas
Baja	21.6%	1.73	9	2.37	4.09
Media	25.5%	2.04	15	3.95	8.05
Alta	43.1%	3.45	21	5.53	19.07
Parada momentánea	9.8%	0.78	0	0.00	0.00
					31.21

Fuente. Elaboración propia

Se observa que las excavadoras tienen un consumo esperado de diésel de 31.21 galones/jornada de 8 horas.

Con estos resultados, se determinó el tiempo promedio que las excavadoras están operando con los 3 niveles de exigencia, o paradas y el consumo horario de diésel.

Tabla 7.
Estimación del consumo de diésel por hora

	Días programados	Disponibilidad %	Días efectivos (de 8 horas)	Consumo diesel esperado galones/día	Consumo diesel anual (galon)	Valor venta diesel (S/)	Costo esperado (S/)
Excavadora A	360	81.9%	295	31.21	9,202.291	9.263	85,241
Excavadora B	360	82.4%	297	31.21	9,260.805	9.263	85,783
Excavadora C	360	80.9%	291	31.21	9,085.263	9.263	84,157
					27,548.359	S/	255,180

Fuente. Elaboración propia

Se observa que el consumo esperado es 27,548 galones por un importe de S/255,180.

La facturación anual registrada en contabilidad, consigna un monto de S/266,490.

El sobrecosto respecto a lo esperado es S/11,310

2.4.3. Solución Propuesta

Solución propuesta de la CR1: Falta sistema de mantenimiento

El mantenimiento preventivo que se diseñará, con la finalidad de mejorar la confiabilidad de las excavadoras que prestan servicio en la mina, seguirá los siguientes pasos:

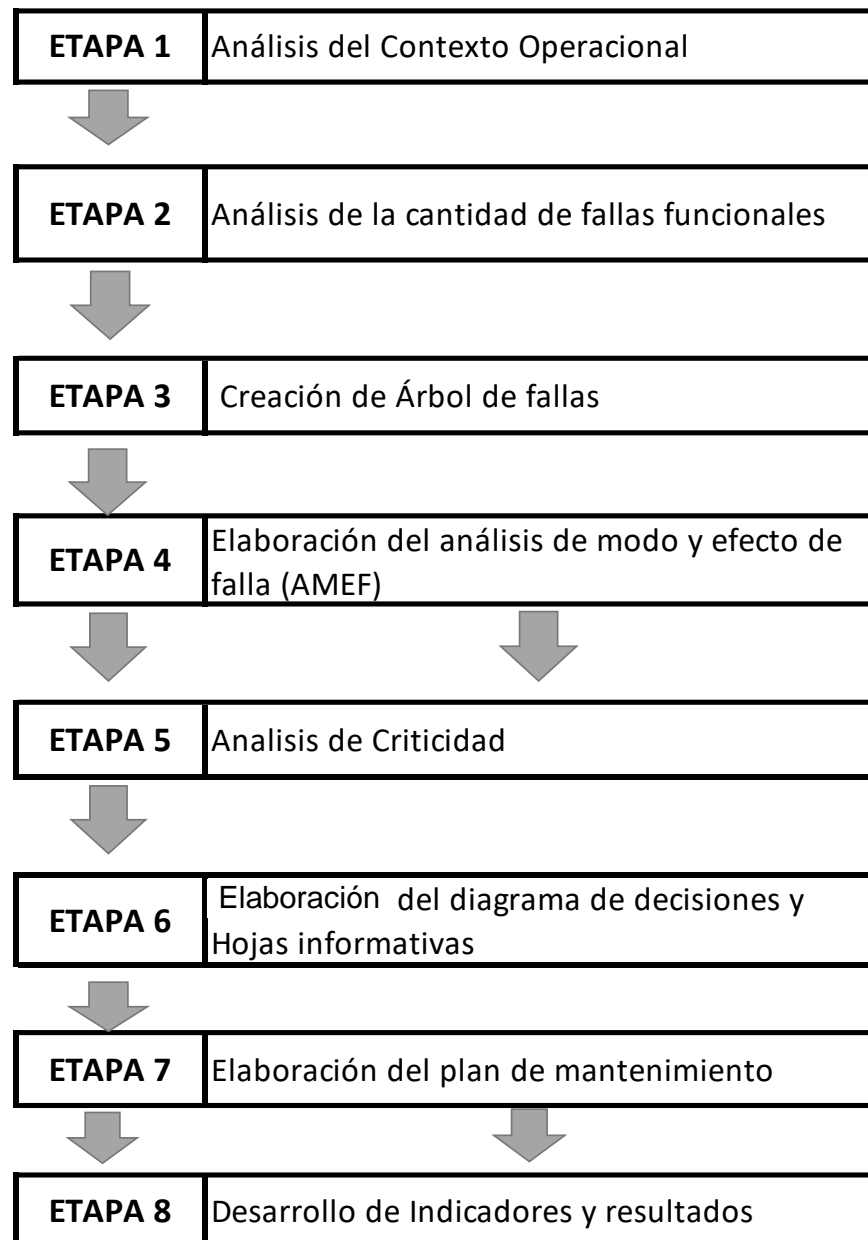


Figura 16. Etapas del mantenimiento preventivo

Fuente. Técnicas de mantenimiento industrial. España. Calpe Institute Technology

Etapa 1 Análisis del contexto operacional

Maquinaria: Excavadora Caterpillar 330 D2L

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO PARA 330	
MOTOR	
Potencia neta: ISO 9249	193.8 kW
Modelo de motor	C7.1 Cat
Potencia del motor: ISO 14396	195 kW
Calibre	105 mm
Carrera	135 mm
Cilindrada	7.01 L
SISTEMA HIDRÁULICO	
Sistema principal: flujo máximo	560 l/min (148 gal/min)
Presión máxima: equipo	35000 MPa
Maximum Pressure - Equipment - Lift Mode	38000 kPa
Presión máxima de desplazamiento	35000 kPa
Presión máxima de rotación	29800 kPa
MECANISMO DE GIRO	
Velocidad de rotación	11.5 r/min
Par de rotación máximo	86 kN·m
PESOS	
Peso en orden de trabajo	30900 kg

CAPACIDADES DE LLENADO DE SERVICIO	
Capacidad del tanque de combustible	474 L
Sistema de enfriamiento	25 L
Aceite del motor	25 L
Mando de rotación: cada uno	2.6 L
Mando final: cada uno	5.5 L
Sistema hidráulico (incluido el tanque)	310 L
Tanque hidráulico	147 L
Tanque del DEF (Diesel Exhaust Fluid, Fluido de escape diésel)	41 L
DIMENSIONES	
Pluma	Alcance HD de 6,15 m (20' 2")
Stick	Alcance HD de 3,2 m (10' 6")
Cucharón	HD de 1,80 m ³ (2,35 yd ³)
Altura de transporte: parte superior de la cabina	3060 mm
Altura del pasamanos	3060 mm
Longitud de transporte	10420 mm
Radio de giro de la cola	3130 mm
Espacio libre del contrapeso	1120 mm
Espacio libre sobre el suelo	490 mm
Longitud de la cadena	4860 mm
Longitud hasta el centro de los rodillos	3990 mm
Entrevía de cadena	2590 mm
Ancho de transporte	3390 mm

Figura 17. Especificaciones de la excavadora 330 D2L

Fuente: Ferreycorp

La excavadora cumple labores de escarbar, limpiar, trasladar, hacer camino y estibar mineral. Las jornadas que cumple son de 8 horas y las condiciones son muy severas.

El operador de la maquinaria es suministrado por la empresa y tienen varios años de experiencia en este rubro.

De manera inicial y con la data del año 2019, se preparó un árbol de causas, que permita visualizar los tipos de fallas y sus manifestaciones.

Etapas 2 Análisis de la cantidad de fallas funcionales

Se tabularon las fallas registradas durante el año 2019 a las tres excavadoras, detallando el modo de falla y el tiempo de la reparación. Con esto se determinaron el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF); el Tiempo de Reparación y que, por tanto, estuvo inactiva la maquina (MTTR); la Confiabilidad y la Disponibilidad.

Estos indicadores se calcularon mensualmente, anualmente y en promedio de las tres excavadoras.

Indicadores excavadora A.- Año 2019							
MES	N° de fallas	Tiempo de paro (horas)	MTBF	MTTR	% Disponibilidad	Confiability	Fallas funcionales
Enero	2	12	32	6	84%	78%	Falla en inyectores.
	2	6					Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
	4	32					Fisura en el cucharón
Febrero	2	24	36	9	81%	80%	Fisura en el brazo hidráulico
	1	10					Cambio del arrancador
	3	24					Contaminación del fluido hidráulico
	2	12					Cavitación. Aspira vacío por falta de líquido hidráulico.
Marzo	2	8	31	11	73%	77%	Fisura en el brazo hidráulico
	1	24					Rotura de manguera hidráulica
	2	24					Cambio de puntas del cucharón
Abril	2	4	33	6	84%	78%	Ajustar oruga
	2	16					Fisura en el brazo hidráulico
	3	24					Contaminación del fluido hidráulico
Mayo	3	4	33	6	85%	79%	Ajustar oruga
	2	12					Calentamiento del motor
	2	24					Fuga externa de líquido hidráulico. Rotura de manguera.
Junio	2	16	53	7	88%	86%	Fisura en el brazo hidráulico
	2	12					Calentamiento del motor por falta de lubricante
Julio	4	24	35	5	87%	79%	Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
	2	8					Desgaste de rodamientos en brazo de carga
Agosto	2	24	32	8	80%	78%	Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
	3	14					Fisura en el cucharón
	2	8					Ajustar oruga
Setiembre	2	8	116	4	97%	93%	Ajustar oruga
Octubre	3	24	34	7	83%	79%	Contaminación del fluido hidráulico
	2	10					Calentamiento del motor
	1	8					Cambio de manguera hidráulica
	2	12					Falla en inyectores
Noviembre	2	8	36	7	83%	80%	Ajustar oruga
	1	7					Cambio del alternador
	2	12					Calentamiento del motor por falta de lubricante
	2	24					Rotura de manguera hidráulica
Diciembre	2	8	37	6	86%	81%	Ajustar oruga
	2	10					Calentamiento del motor
	1	12					Calentamiento del motor por falta de lubricante
	2	12					Cavitación. Aspira vacío por falta de líquido hidráulico.
Total	72	521					
MTTR (Horas)	7						
MTBF (Horas)	33						
Confiability	78%						
Disponibilidad	82%						

Figura 18. Indicadores excavadora A año 2019

Indicadores excavadora B.- Año 2018							
MES	N° de fallas	Tiempo de paro (horas)	MTBF	MTTR	% Disponibilidad	Confiabilidad	Fallas funcionales
Enero	4	30	30	7	80%	77%	Fisura en el cucharón
	2	7					Cambio de zapata de freno
	2	22					Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
Febrero	1	24	216	24	90%	96%	Cambio de alternador
Marzo	3	14	35	4	91%	79%	Fisura en el brazo hidráulico
	2	6					Rotura de manguera hidráulica
	4	12					Contaminación del fluido hidráulico
Abril	3	7	35	6	85%	79%	Ajustar oruga
	2	24					Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
Mayo	3	11	35	5	87%	79%	Rotura de neumático
	3	20					Fisura en el cucharón
Junio	2	12	35	4	89%	79%	Falla en inyectores
	3	9					Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
	3	12					Ajustar oruga
Julio	2	18	50	11	83%	85%	Cambio de zapata de freno
	2	24					Fuga externa de líquido hidráulico. Rotura de manguera.
Agosto	3	24	38	10	80%	81%	Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
	2	24					Contaminación del fluido hidráulico
Setiembre	2	16	32	8	80%	78%	Ajustar oruga
	4	32					Fuga externa de líquido hidráulico. Rotura de manguera.
Octubre	2	18	40	8	83%	82%	Cambio de zapata de freno
	3	24					Contaminación del fluido hidráulico
Noviembre	4	18	21	6	79%	68%	Rotura de manguera hidráulica
	2	8					Revisión del alternador
	3	24					Falla en inyectores.
	2	12					Fuga externa de líquido hidráulico. Rotura de manguera.
Diciembre	2	22	39	8	83%	81%	Cambio de zapata de freno
	2	8					Rotura de manguera hidráulica
	2	14					Cambio de faja del alternador
	1	10					Cambio de turbo
Total	75	506					
MTTR (Horas)	7						
MTBF (Horas)	32						
Confiabilidad	78%						75
Disponibilidad	82%						

Figura 19. Indicadores excavadora B año 2019

Indicadores excavadora C.- Año 2018							
MES	Nº de fallas	Tiempo de paro (horas)	MTBF	MTTR	% Disponibilidad	Confiabilidad	Fallas funcionales
Enero	2	16	41	6	87%	82%	Fisura en el brazo hidráulico
	2	9					Calentamiento del motor
	1	6					Cambio de mangera hidráulica
	2	12					Cavitación. Aspira vacío por falta de líquido hidráulico.
Febrero	2	4	27	6	81%	74%	Ajustar oruga
	2	6					Calentamiento del motor
	2	24					Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
	3	24					Fisura en el cucharón
Marzo	3	12	32	7	82%	78%	Ajustar oruga
	2	14					Contaminación del fluido hidráulico
	2	24					Rotura de manguera hidráulica
Abril	2	12	35	6	85%	79%	Falla en inyectores. Obstrucción
	2	16					Fisura en el brazo hidráulico
	2	8					Ajustar oruga
	2	12					Cavitación. Aspira vacío por falta de líquido hidráulico.
Mayo	2	8	35	6	87%	80%	Ajustar oruga
	2	16					Fisura en el brazo hidráulico
	2	12					Cavitación. Aspira vacío por falta de líquido hidráulico.
	2	8					Cambio de zapata de freno, rueda posterior derecha
Junio	2	16	50	10	83%	85%	Fisura en el brazo hidráulico
	2	24					Contaminación del fluido hidráulico
Julio	2	8	38	3	93%	81%	Ajustar oruga
	2	4					Rotura de manguera hidráulica
	1	2					Cambio de circulina
Agosto	2	8	236	4	98%	100%	Ajustar oruga
Setiembre	2	16	67	13	83%	89%	Fisura en el brazo hidráulico
	1	24					Calentamiento del motor por falta de lubricante
Octubre	3	9	35	6	86%	79%	Rotura faja del alternador
	3	24					Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica
Noviembre	2	16	21	14	60%	69%	Cambio de sellos del cilindro bucket
	3	48					Contaminación del fluido hidráulico
	3	48					Calentamiento del motor
Diciembre	3	24	30	5	85%	76%	Calentamiento del motor
	2	6					Cambio de zapata de freno
	2	24					Contaminación del fluido hidráulico
	1	7					Cambio de regulador del alternador
Total	75	551					
MTTR (Horas)	7						
MTBF (Horas)	31						
Confiabilidad	77%						
Disponibilidad	81%						

Figura 20. Indicadores excavadora C año 2019

El promedio de las tres maquinarias, se muestra seguidamente.

	Actual	Propuesta
Horas-maquina disponible	8,640.0	8,640.0
Total horas de para	1,578.0	1,123.2
MTBF (Horas)	31.8	
MTTR (Horas)	7.1	
Disponibilidad	81.7%	87.0%
Confiabilidad	77.8%	80%

Figura 21. Resumen indicadores de mantenimiento 2019

Con esta información, se preparó un Pareto por fallas, que permita enfocar los esfuerzos de mantenimiento es las causas de mayor impacto en la pérdida de horas-máquina.

Falla funcional	Horas de para	Hora acum	%	% acum	Sistema
Contaminación del fluido hidráulico	242				Hidráulico
Rotura de manguera hidráulica	214				Hidráulico
Fisura en el brazo hidráulico	158				Hidráulico
Cavitación	60	674	43%	43%	Hidráulico
Disminución fuerza en el brazo por falla hidráulica	181				Implementos de trabajo
Calentamiento del motor	179				Implementos de trabajo
Fisura en el cucharón (Bucket)	120				Implementos de trabajo
Cambio de puntas del cucharón	24				Implementos de trabajo
Cambio sellos cilindro cucharón (bucket)	16				Implementos de trabajo
Cambio de rodamientos del brazo de carga	8	528	33%	76%	Implementos de trabajo
Ajustar oruga	134				Sistema de potencia
Cambio de zapata de freno	79				Sistema de potencia
Falla en inyectores	72				Sistema de potencia
Cambio de turbo	10	295	19%	95%	Sistema de potencia
Cambio del alternador	31				Eléctrico/electrónico
Cambio de circulina	14				Eléctrico/electrónico
Cambio del arrancador	10				Eléctrico/electrónico
Rotura faja del alternador	9				Eléctrico/electrónico
Revisión del alternador	8				Eléctrico/electrónico
Cambio de regulador del alternador	7				Eléctrico/electrónico
Cambio de circulina	2	81	5%	100%	Eléctrico/electrónico
Total horas		1578			

Figura 22. Pareto de fallas funcionales por sistema de la excavadora

Fuente: Elaboración propia

Gráficamente se muestra de la siguiente manera.

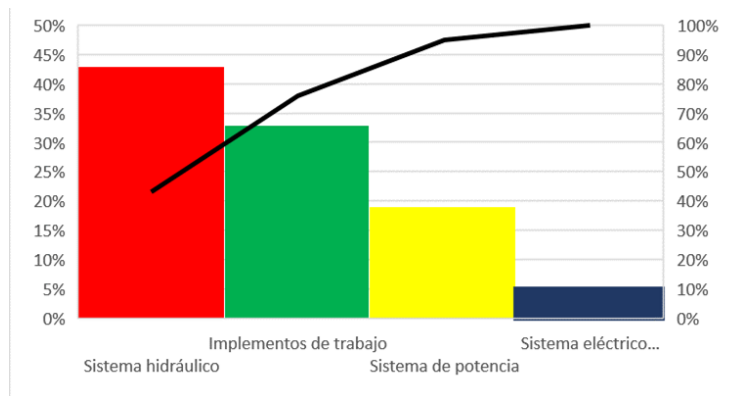


Figura 23. Pareto de fallas por sistema

Fuente: Elaboración propia

De manera general, los problemas generados por fallas en el sistema hidráulico son los más recurrentes.

Individualmente, las fallas por componente o pieza, tienen la siguiente distribución en su propio Pareto.

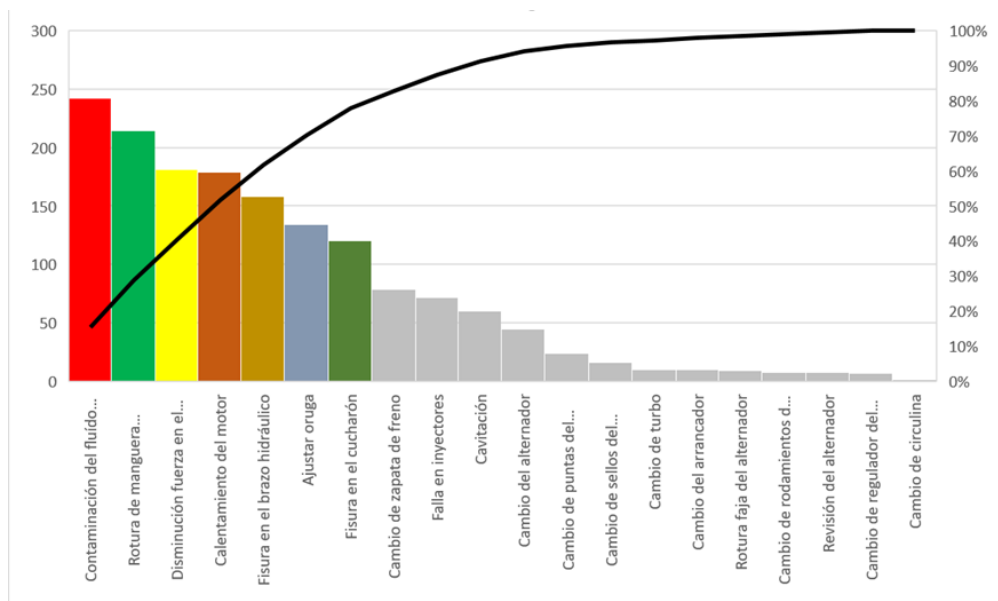


Figura 24. Pareto de fallas por componente o pieza

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los problemas de falla por componente hidráulico son los de mayor presencia. Esto se tendrá en consideración en el plan que se está organizando y que se visualiza en el siguiente árbol de causas.

Etapa 3 Árbol de fallas

Se elaboró un árbol de causa raíz, para dar más claridad al análisis de las fallas y sus causas. Para ello, se vincula los componentes a cada sistema y después se enlazan a cada uno de ellos, los posibles modos de falla que presenten.

La importancia de analizar las fallas que ocurren en las máquinas o sistemas, radica en que este análisis nos permite confirmar o descartar los supuestos orígenes de dichas fallas.

Este análisis se hizo escuchando la opinión invalorable de los expertos de la empresa.

Seguidamente se muestra el árbol de causas de las fallas de las excavadoras.

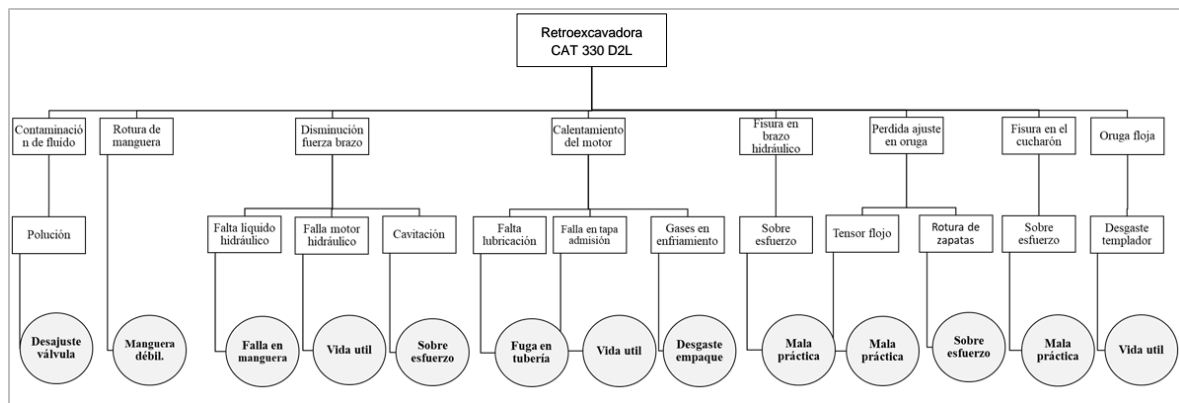


Figura 25. Árbol de causas de las fallas de excavadoras

Fuente. Elaboración propia

Luego, se asignará cada falla a su sistema de operación dentro de la maquinaria, según criterio del fabricante.

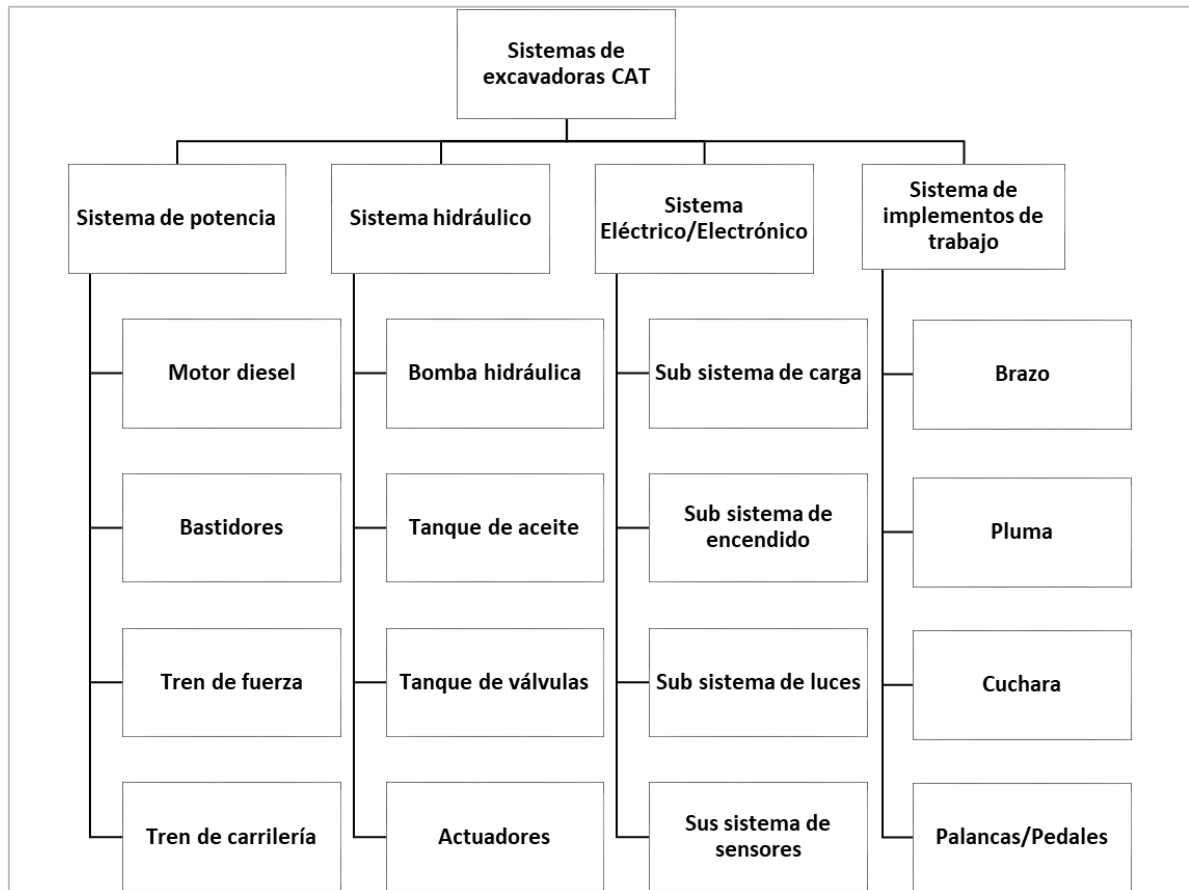


Figura 26. Sistemas de excavadora CAT

Fuente: Ferreycorp

Etapas 4 Matriz AMEF

Se aplicará el análisis modal de fallos y efectos (AMFE) para – con la orientación del árbol de fallas - por clasificarlos por su gravedad o efectos, de acuerdo al sistema al que pertenecen.

		Elaborado por : Diego Tomás	ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS AMEF							Operaciones	
		13/12/2019	AMEF No. 001							Departamento: Mantenimiento	
Sistemas	Componente o Pieza	Descripción	Nombre del Equipo: Excavadora A		Número: A Modelo: 336DL						
		Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual (Número prioritario de riesgo)					Recomendable	Responsable
					Acciones	Ocurre	Severo	Detectable	NPR		
HIDRÁULICO	Mangueras hidráulicas	Paro de equipo - fuga de aceite	Fatiga de lona	Vibracion de componetes	Cambio	9	5	3	135	Inspección semanal	mecánico
	Motor hidraulico	Perdida de fuerza hidraulica	Desgaste interno	Cavitación	Cambio	5	7	3	105	Inspección periodico	mecánico
	Filtro de aceite	Obstruccion - Desgaste	No retiene	Suciedad	Cambio	7	5	3	105	Programacion adecuada	mecánico
POTENCIA	Motor	Disminucion de vida util	Parada de equipos	Condiciones de trabajo severas	Cambio	2	9	9	162	Mantenimiento	mecánico
	Inyectores	Pérdida de fuerza	Parada de equipo	Vida util	Cambio	7	6	3	126	Mantenimiento	mecánico
	Oruga	Ruptura de zapatas	Parada de equipos	Fuga de por el templador	Cambio	5	9	2	90	Inspeccion periodico	soldador
	Rodillos	Ruptura de ejes	Parada de equipo	Vida util	Cambio	4	9	2	72	Maquinado	soldador
	Turbo	Pérdida de fuerza	Parada de equipo	Vida util	Cambio	4	6	3	72	Mantenimiento	mecánico
	Filtro de aire	Perdida de fuerza	Saturacion de filtro	Polucion ambiental	Cambio	7	5	2	70	Inspección diaria	mecánico
	Motor de giro	Desgaste interno	Parada de equipos	Lubricación	Cambio	3	4	5	60	Inspeccion	mecánico
	Radiador	Recalentamiento	Disminucion de vida util	Calidad de refrigerante	Cambio	5	5	2	50	Mantenimiento	mecánico
	Filtro de Petroleo	Reduccion de vida util de inyectores	No retiene la suciedad	Diesel sucio	Cambio	4	5	2	40	Programación adecuada	mecánico
	Filtro separador de agua	Saturacion	No retiene el agua	Mala calidad de combustible	Cambio	4	5	2	40	Programación adecuada	mecánico
	Tomamesa	Tranca el giro de	Parada de equipo	Engrase	Cambio	3	4	3	36	Inspeccion	mecánico
IMPLEMENTOS DE TRABAJO	Cucharon	Desgaste Fisuras	Demoras operativas	Sobrecarga Mala práctica	Cambio	10	9	2	180	Recalzado	soldador
	Puntas	Ruptura de puntas Fisuras	Demoras operativas	Sobrecarga Mala práctica	Cambio	8	5	2	80	Recalzado	soldador
	Sproket	Ruptura de dientes	Parada de equipo	Vida util	Cambio	4	9	2	72	Maquinado	soldador
	Cilindro bucket	Desgaste prematuro	Desgaste del vástago	Polución	Cambio	4	8	2	64	Inspección periodico	mecánico
	Cilindro boom	Desgaste prematuro	Desgaste del vástago	Polución	Cambio	3	8	2	48	Inspección periodico	mecánico
	Cilindro stick	Desgaste prematuro	Desgaste del vástago	Polución	Cambio	3	8	2	48	Inspección periodico	mecánico
ELÉCTRICO & ELECTRÓNICO	Arrancador	Vida util de componentes	Desgaste interno	Paro de equipo	Cambio	6	8	2	96	Mantenimiento	eléctrico
	Alternador	Vida util de componentes	Desgaste interno	Paro de equipo	Cambio	6	8	2	96	Mantenimiento	eléctrico
	Harness	Corto circuitos - mala señal de sensores	Parada - demoras	Condiciones de trabajo severas	Cambio	3	7	3	63	Mantenimiento	eléctrico
	Circulina	Vida util de componentes	Demoras operativas	Calidad	Cambio	1	3	3	9	Inspeccion	eléctrico

Figura 27. Matriz AMFE de fallas de excavadora

Fuente: Elaboración propia

El Número prioritario de riesgo -NPR - obtenido por cada componente, se emplea para jerarquizar su importancia en la atención que deberá ser objeto dentro de los planes de mantenimiento.

Se clasificarán de mayor a menor. Se acordó con los especialistas, que no se aceptarán NPR que sean mayores a 300, por significar problemas muy graves. En este caso no se encontró ningún modo.

Con este análisis, se busca tener todos los posibles fallos controlados, habiendo actuado para disminuir el NPR de los más graves.

Componente o Pieza	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	NPR	Importancia
Bucket (Cucharón)	Desgaste/Fisuras	Demoras operativas	Sobrecarga/Mala práctica	180	Alta
Motor	Disminucion de vida util	Parada de equipos	Condiciones de trabajo severas	162	Alta
Mangueras hidraulicas	Paro de equipo/ fuga de aceite	Fatiga de lona	Vibracion de componetes	135	Alta
Inyectores	Pérdida de fuerza	Parada de equipo	Vida util	126	Alta
Motor hidraulico	Perdida de fuerza hidraulica	Desgaste interno	Cavitación	105	Alta
Filtro de aceite	Obstruccion/ Desgaste	No retiene	Suciedad	105	Alta
Arrancador	Falla/paro	Desgaste interno	Paro de equipo	96	Media
Alternador	Falla/paro	Desgaste interno	Paro de equipo	96	Media
Oruga	Ruptura de zapatas	Parada de equipos	Mala práctica	90	Media
Oruga	Aflojamiento cadena	Parada de equipos	Templador flojo	90	Media
Puntas	Ruptura de puntas/Fisuras	Demoras operativas	Sobrecarga/Mala práctica	80	Media
Rodillos	Ruptura de ejes	Parada de equipo	Vida util	72	Media
Sproket	Ruptura de dientes	Parada de equipo	Vida util	72	Media
Turbo	Pérdida de fuerza	Parada de equipo	Vida util	72	Media
Filtro de aire	Perdida de fuerza	Saturacion de filtro	Polucion ambiental	70	Media
Cilindro bucket	Desgaste prematuro	Desgaste del vástago	Polución	64	Media
Harness (cableado)	Corto circuitos - mala señal	Parada - demoras	Trabajo severo	63	Media
Motor de giro	Desgaste interno	Parada de equipos	Lubricación	60	Media
Radiador	Recalentamiento	Disminucion de vida util	Calidad de refrigerante	50	Manejable
Cilindro boom	Desgaste prematuro	Desgaste del vástago	Polución	48	Manejable
Cilindro stick	Desgaste prematuro	Desgaste del vástago	Polución	48	Manejable
Filtro de Petroleo	Reduccion de vida util de inyectores	No retiene la suciedad	Diesel sucio	40	Manejable
Filtro separador de agua	Saturacion	No retiene el agua	Mala calidad de combustible	40	Manejable
Tornamesa	Tranca el giro	Parada de equipo	Engrase	36	Manejable
Circulina de seguridad	Falla/paro	Demoras operativas	Calidad	9	Manejable

Figura 28. Resultado del AMFE con jerarquización de causas de fallas

Fuente: Elaboración propia

Etapa 5 Análisis de criticidad

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición crítica. En contraparte, para que una falla sea crítica, debe afectar potencialmente la seguridad o al medioambiente. Pueda suponer una parada o afecte al rendimiento de producción. Además, que provoque costos de reparación y lucro cesante – a criterio de

los expertos de la empresa - mayores a S/5,000.

Subsistema / Pieza	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos de Man.	Impacto SHA	Consecuencia	Total	Jerarquización
Bucket (Cucharón)	4	10	4	1	1	42	168	Crítico
Oruga	3	10	4	2	2	44	132	Crítico
Mangueras hidráulicas	3	10	4	1	1	42	126	Crítico
Puntas	4	8	2	1	1	18	72	Crítico
Motor	2	10	3	2	2	34	68	Crítico
Bomba hidráulica	2	10	3	2	2	34	68	Crítico
Motor de giro	2	10	3	2	2	34	68	Crítico
Inyectores	2	10	2	1	1	22	44	Semi crítico
Tornamesa	1	10	4	2	1	43	43	Semi crítico
Cilindro stick	2	9	2	1	1	20	40	Semi crítico
Cilindro boom	2	8	2	1	1	18	36	Semi crítico
Arrancador	2	8	2	1	1	18	36	Semi crítico
Alternador	2	8	2	1	1	18	36	Semi crítico
Rodillos	3	5	2	1	1	12	36	Semi crítico
Harness (cableado)	2	7	2	1	2	17	34	Semi crítico
Radiador	2	5	3	1	1	17	34	Semi crítico
Sproket	2	5	2	1	1	12	24	Semi crítico
Cilindro bucket	3	3	2	1	1	8	24	Semi crítico
Filtro de aceite	2	3	2	1	1	8	16	Semi crítico
Turbo	2	3	2	1	1	8	16	Semi crítico
Filtro de aire	2	3	2	1	1	8	16	Semi crítico
Filtro de Petróleo	1	3	2	1	1	8	8	No crítico
Filtro separador de agua	1	3	2	1	1	8	8	No crítico
Circulina de seguridad	1	1	1	1	2	4	4	No crítico

Figura 29. Matriz de criticidad

Fuente: Elaboración propia

Etapa 6 Diagrama de decisiones y hojas de información

Luego de haberse determinado la criticidad de las fallas y sus componentes, se utilizará los criterios del árbol de decisiones, según el RCM .

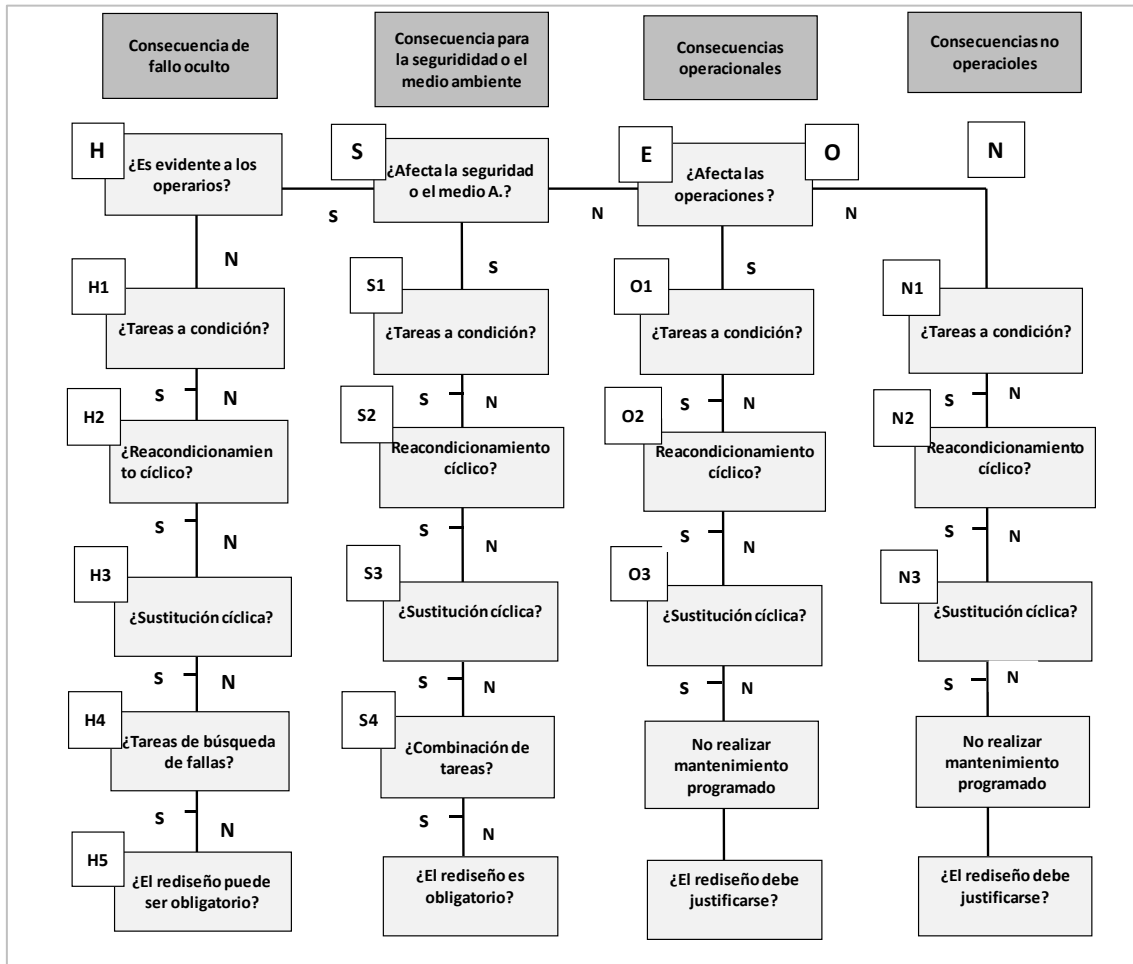


Figura 30. Árbol de decisiones RCM

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la lógica de este árbol, de acuerdo a la realidad en la que se desarrollan las maquinarias, se procede a elaborar las hojas de decisiones RCM siguientes

Hoja de decisiones RCM				Excavadora CAT 330 D2L				Hecho por : Diego Tomás				20/12/2019		ESMAC S.A.							
Sistemas de excavadora	Componente o Pieza	Referencias de la información			Evaluación de las consecuencias										Tareas a falta de...			Acciones	Frecuencia de falla	Intervalo entre acciones (Horas)	Responsable
		F	FF	MF	H	S	E	O	N1 O1 SI H1 Hay tareas que anticipen y reduzcan efecto de la falla?	N2 O2 S2 H2 Un reacondicionamiento cíclico puede prevenir la falla?	N3 O3 S3 H3 Es técnicamente factible una sustitución cíclica	H4	H5 Si H4 fue No, podría la falla afectar la seguridad?	S4 Acción técnica o económicamente posible							
		Función falla	Falla funcional	Modo de falla	Fallo oculto	Afecta la salud	Afecta ambiente	Consecuencia operación				Merece la pena buscar la falla?									
HIDRÁULICO	Mangueras hidráulicas	1	A	Paro de equipo - fuga de aceite	S	N	S	S	S	S	S	S	N	S	Medición de tren de rodamiento	Alta	100	mecánico			
	Bomba hidráulica	2	B	Pérdida de fuerza hidráulica	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Reparación de bomba	Alta	300	mecánico			
	Filtro de aceite	3	C	Obstrucción - Desgaste	N	N	N	S	S	S	N	N	S	S	Cambio	Alta	500	mecánico			
POTENCIA	Motor	4	A	Disminución de vida útil	N	N	N	S	S	N	N	S	N	S	Revisión/calibración	Baja	9000	mecánico			
	Inyectores	5	B	Pérdida de fuerza	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Revisión/calibración	Media	4000	mecánico			
	Oruga	6	C	Ruptura de zapatas	N	S	N	S	S	S	S	S	N	S	Medición de tren de rodamiento	Alta	500	mecánico			
	Rodillos	7	D	Ruptura de ejes	S	N	N	S	S	S	S	N	S	S	Limpieza	Alta	500	mecánico			
	Zapatas de freno	8	E	Deficiente frenado	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	Revisión. Eventual recalce	Alta	500	mecánico			
	Turbo	9	F	Pérdida de fuerza	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Limpieza/cambio	Alta	500	mecánico			
	Filtro de aire	10	G	Pérdida de fuerza	S	N	N	S	S	S	S	N	S	S	Limpieza/cambio	Alta	500	mecánico			
	Motor de giro	11	H	Desgaste interno	N	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Reparación del motor	Baja	9000	mecánico			
	Radiador	12	I	Recalentamiento	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Soldar/Cambio	Medio	2000	mecánico			
	Filtro de Petróleo	13	J	Reducción de vida útil de inyectores	N	N	N	S	S	S	S	N	S	S	Cambio	Alto	500	mecánico			
	Filtro separador de agua	14	K	Saturación	N	N	N	S	S	S	S	N	S	S	Cambio	Alto	500	mecánico			
	Tomamesa	15	L	Tranca el giro	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Cambio	Alto	500	mecánico			
IMPLEMENTOS DE TRABAJO	Cucharon	16	A	Desgaste Fisuras	S	N	N	N	N	S	S	N	S	S	Soldar	Alto	500	Soldador			
	Puntas	17	B	Ruptura de puntas Fisuras	S	N	N	N	N	S	S	N	S	S	Soldar/Cambio	Alto	500	Soldador			
	Sproket	18	C	Ruptura de dientes	S	N	N	N	N	S	S	N	S	S	Soldar/Cambio	Alto	500	Soldador			
	Cilindro bucket	19	D	Desgaste prematuro	S	N	N	N	S	S	S	N	S	S	Soldar/Cambio	Alto	500	Soldador			
	Cilindro boom	20	E	Desgaste prematuro	S	N	N	N	S	S	S	N	S	S	Soldar/Cambio	Alto	500	Soldador			
	Cilindro stick	21	F	Desgaste prematuro	S	N	N	N	S	S	S	N	S	S	Soldar/Cambio	Alto	500	Soldador			
ELÉCTRICOS & ELECTRÓNICO	Arrancador	22	A	Vida útil de componentes	S	N	N	N	S	S	S	N	S	S	Inspección/Cambio	Media	4000	Eléctrico			
	Alternador	23	B	Vida útil de componentes	S	N	N	N	S	S	S	N	S	S	Inspección/Cambio	Media	4000	Eléctrico			
	Harness	24	C	Corto circuitos - mala señal de sensores	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	Inspección/Cambio	Media	4000	Eléctrico			
	Circulita	25	D	Vida útil de componentes	S	N	N	N	S	S	S	N	S	S	Inspección/Cambio	Media	4000	Eléctrico			

Figura 31. Hoja de decisiones RCM

Fuente: Elaboración propia

Etapas 7 Plan de mantenimiento

Aplicando la metodología R.C.M y basándose en la anteriores *Hojas de Decisiones*, se ha elaborado el siguiente plan de mantenimiento preventivo, que busca incrementar la confiabilidad de los equipos, al reducir el tiempo de reparaciones; el número de fallas de los equipos; eliminándose las tareas redundantes de mantenimiento redundantes y añadiéndose nuevas tareas para reducir la tasa.

El plan de mantenimiento y cronograma es el siguiente.

	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	TAREA PROPUESTA	Diario	50	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000
HIDRÁULICO	LINEAS HIDRÁULICAS	MANGUERA HIDRÁULICA	Inspección visual de las mangueras hidráulicas					X						
		CAÑERÍA HIDRÁULICA	Inspección visual de las mangueras hidráulicas					X						
		MANGUERA DE BUCKET	Inspección visual de las mangueras hidráulicas					X						
		MANGUERA DE CUCHARON	Inspección visual de las mangueras hidráulicas					X						
		MANGUERA DE STICK	Inspección visual de las mangueras hidráulicas					X						
		MANGUERA DE BOMBA	Inspección visual de las mangueras hidráulicas					X						
		ABRAZADERA DE MANGUERA	Inspección visual de abrazaderas				X							
	CILINDRO	ORING DE CILINDRO	Inspección visual de los cilindros								X			
		MARTILLO	Inspección de visual	X										
		CILINDRO DEL BOOM	Inspección visual de los cilindros								X			
		VASTAGO DEL CILINDRO	Inspección de visual					X						
	BOMBAS	BOMBA HIDRÁULICA	Cambio de bomba hidráulico											X
	VALVULA DE CONTROL	VALVULA REGULADORA	Cambio de Válvula reguladora										X	

Figura 32. Plan de mantenimiento preventivo de sistema hidráulico

Fuente: Elaboración propia

				MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN HORAS										
	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	TAREA PROPUESTA	Diario	50	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000
POTENCIA	TREN DE CARRILERIA	ESLABON DE CADENA	Medición de tren de rodamiento durante el PM 2				X							
		PIN MASTER DE CADENA	Medición de tren de rodamiento durante el PM 2				X							
		RODILLO SUPERIOR	Limpieza/ Inspección visual					X						
		RODILLOS INFERIORES	Limpieza/ Inspección visual					X						
		ZAPATAS	Monitoreo de condición y recalce si es necesario										X	
	MOTOR	RADIADOR	Inspección Visual durante el proceso de PM											X
		TANQUE DE REFRIGERANTE	Inspección de niveles diario	X										
		FILTRO DE AIRE	Inspección semanal		X									
		VALVULA DE EGR	Limpieza electrónica de EGR				X							
		TURBOCOMPRESOR	Medición de juego Radial/ Axial						X					
		FILTRO DE COMBUSTIBLE	Análisis de combustible en el primer PM de 500				X							
		CAÑERIA DE ACEITE DEL TURBOCOMPRESOR	Cambio de cañería de aceite								X			
		BOMBA DE AGUA	Inspección Visual								X			
		TERMOSTATO	Procedimiento establecido por fábrica											X
		BOMBA ELÉCTRICA DE COMBUSTIBLE	Análisis de combustible en el primer PM de 500				X							
		VENTILADOR	Inspección Visual durante el proceso de PM											X
		INYECTORES	Cambio de inyectores											

Figura 33. Plan de mantenimiento preventivo de sistema de potencia

Fuente: Elaboración propia

				MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN HORAS										
	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	TAREA PROPUESTA	Diario	50	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000
ELÉCTRICO & ELECTRÓNICO	LUCES	CABLEADO DE LUCES	Inspección de visual de cables	X										
		ARNES ELECTRONICO DE MOTOR	Inspección de ramales electrónicos						X					
		FAROS DEL AGUILON	Inspección de visual de cables	X										
		FUSIBLE DE MONITOR	Medición de continuidad de los fusibles								X			
		ARNES CABLES DE MANDO HIDRAULICO	Inspección de ramales electrónicos										X	
		FOCO H3	Inspección de los focos	X										
	ENCENDIDO	CIRCULINA	Inspección de circulina	X										
		ARRANCADOR	Mantenimiento de arrancador							X				
		CLAXON	Inspección de claxon	X										
	CARGA	ALTERNADOR	Mantenimiento de alternador							X				
		BATERIAS	Inspección de voltaje/ Electrolyto								X			
	CAJA DE CIRCUITOS	MCZ	Procedimiento establecido por fábrica											X
		TABLERO DE CONTROL	Inspección de Tablero de control	X										
		ECU	Procedimiento establecido por fábrica											X
		SENSOR DE TEMPERATURA	Procedimiento establecido por fábrica									X		
		SENSOR DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	Procedimiento establecido por fábrica									X		

Figura 34. Plan de mantenimiento preventivo de sistema eléctrico y electrónico

Fuente: Elaboración propia

				MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN HORAS										
	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	TAREA PROPUESTA	Diario	50	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000
IMPLEMENTOS	IMPLEMENTOS DE MAQUINA	Cucharon	Inspección de visual	X										
		Puntas	Inspección de visual	X										
		Sproket	Inspección de visual	X										
		Cilindro bucket	Inspección de visual	X										
		Cilindro boom	Inspección de visual	X										
		Cilindro stick	Inspección de visual	X										

Figura 35. Plan de mantenimiento preventivo de sistema de implementos de máquina

Fuente: Elaboración propia

Etapa 8 Desarrollo de resultados e indicadores

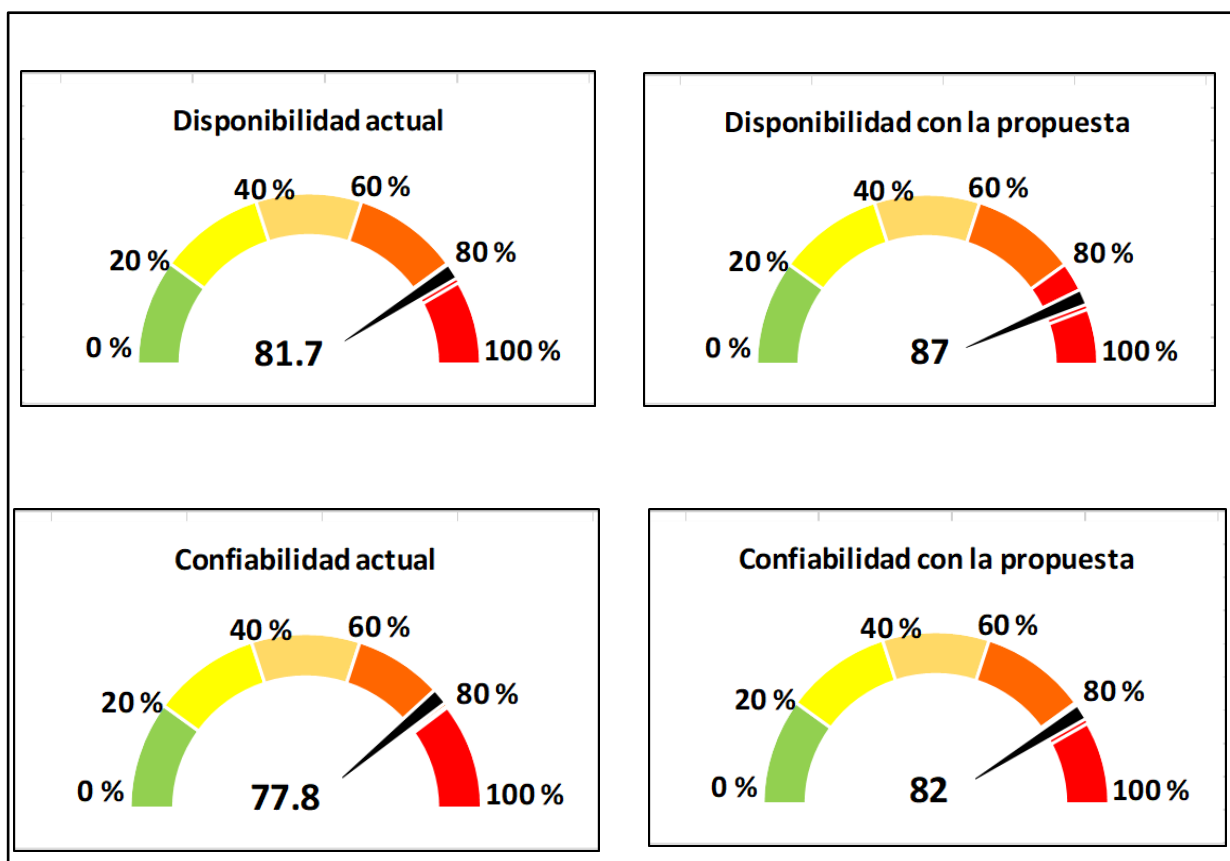


Figura 36. Indicadores de resultado de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

Solución propuesta de la CR2: Falta capacitación y control

Se propone afrontar este problema, desde dos ángulos. En primer lugar, se recomienda actualizar y capacitar a los operadores con técnicas de conducción eficiente de la maquinaria, de modo que se mejore la utilización del diésel. Este servicio lo brinda el mismo proveedor, Ferreycorp.

En segundo lugar, se propone solicitar el servicio de rastreo satelital que brinda Fliit, para controlar las malas prácticas de manejo, que afectan la productividad de la máquina y, además, incrementan el consumo de combustible de manera inoficiosa.

Ferreyros S.A., líder en la comercialización y servicio de maquinaria pesada, recomienda en sus capacitaciones:

- Conservar los equipos mediante la revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad, sin olvidar ni posponer el mantenimiento preventivo el mantenimiento preventivo.
- Revisar constantemente la presión de los neumáticos y la tensión de las cadenas para proporcionar seguridad en cada operación y larga vida a los neumáticos y a la cadena.
- Analizar las maniobras y ejecutar los movimientos con la mayor conciencia posible para ahorrar combustible y fatiga al operar.
- Estudiar frecuentemente el manual y verificar para qué sirve cada uno de sus componentes. Esto evitará forzar y desgastar de forma prematura la máquina.
- Es necesario organizar las horas que se van a laborar, el lugar y lo que implica la jornada. Tome en cuenta las condiciones meteorológicas o suelos excesivamente blandos o embarrados para evitar accidentes o fallas en la maquinaria.
- Dominar el sistema de detección de carga que le permite controlar la energía hidráulica de forma automática y el sistema de detección automática del motor cuando el equipo no se esté utilizando. Y
- Aprovechar al máximo, el modo económico que permite reducir la velocidad máxima y disminuir considerablemente *el consumo de combustible hasta en 6%.*

PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO PARA OPERADORES DE MAQUINARIA CATERPILLAR



Cursos dirigidos para operadores de maquinaria pesada trabajando en la construcción y minería. Estos se encuentran orientados a la actualización, estándares, técnicas de operación y lograr el rendimiento óptimo de los equipos Caterpillar.



una empresa Ferreyrocorp

RENDIMIENTO DE EQUIPO

Nivel Avanzado

El optimizar el rendimiento de los equipos en las empresas es de vital importancia, pero para ello es de necesario evaluar las condiciones de trabajo y acorde a ellas implementar las mejoras correspondientes que se traduzcan en mejoras en la producción.

Público objetivo

Operadores con experiencia en operación de equipos Caterpillar.

Objetivo del curso

- Evaluar las condiciones y técnicas de operación.
- Tomar data de tiempo de ciclos.
- Optimizar las producción.

Contenido del curso

- Seguridad en la operación de equipos; descripción del equipo, uso de mandos y controles, Sistema monitor, categorías de adherencia, procedimientos antes, durante y después del arranque; uso de vigías, señales de mano, movilización del equipo, estacionamiento y apagado seguro.

Requerimientos

- Sala, Proyector multimedia
- Disponibilidad de equipo
- Disponibilidad del personal

Pre-requisitos

- Haber aprobado el curso de aplicación de máquina
- Experiencia en la familia de equipos a entrenar

Duración

02 Días
04 horas – Teoría
12 horas – Práctica

N° de Participantes

Mínimo 11 | Máximo 3

Se entregará:

- Certificado

Figura 37. Programa de entrenamiento para operadores de maquinaria

El costo de 04 horas de teoría y 12 horas de práctica, es S/5,000.

Respecto al control de la operación de las máquinas, se ha propuesto solicitar el servicio de rastreo satelital de las máquinas de la empresa.

Este servicio lo brinda Ferreyros S.A. a través de *Fliit*, que es un desarrollo de *Prosegur Argentina*, en conjunto con *Location World*.

Con *Fliit* es posible monitorear las máquinas desde cualquier dispositivo, ya sea computadora, teléfono o tablet. El acceso web a la plataforma es ilimitado, sin restricciones de usuarios, y las aplicaciones móviles están disponibles para Android e iOS.

El rastreo satelital se realiza mediante un GPS inteligente con señal 3G de alta velocidad. El dispositivo tiene una precisión de 2.5 metros en la localización, garantizando un seguimiento exacto y en tiempo real de los vehículos.

El sistema incorpora funciones de *monitoreo de combustible*, horómetro (tiempo de uso), odómetro (kilómetros recorridos), estado del vehículo (si está encendido o apagado), y control de tiempos muertos.

Además de monitorear y controlar los vehículos de tu flota, la plataforma te permite acceder a reportes completos y datos analíticos detallados. Adicionalmente, cuenta con un servicio de tableros personalizados para casos o requerimientos especiales.

El sensor GPS cuesta US\$150 y va oculto en la maquinaria. El servicio básico cuesta 90 dólares y reporta 1 vez al día, hasta US\$500 dólares, que envía reportes cada minuto.

El cronograma de capacitaciones, obra en anexos.

Solución propuesta de la CR3: Falta control de inventarios

Como parte de la propuesta de mejora, se recomienda:

1. Aplicar un sistema ABC por costo de los materiales, de modo que permita enfocar esfuerzos de control y vigilancia en aquellos de mayor costo y
2. Organizar los inventarios en función de su criticidad. Además, de determinar los inventarios mínimos, de acuerdo al lead time y frecuencia de uso, el punto de pedido y el lote económico de compra, para usarlo de referencia al momento de requerirlos.

En primer lugar, se determina el costo de emitir órdenes y del mantenimiento de los materiales dentro del almacén, como componentes del cálculo del EOQ.

Tabla 8.
Costo de emisión de órdenes de compra

	Mensual	Diaria	Horaria	Minuto	Tiempo/orden	Costo/orden
Remuneraciones gerenciales	S/15,000	S/500	S/62.5	S/1.042	25	S/26.04
Remuneraciones asistentes	S/4,500	S/150	S/18.8	S/0.313	60	S/18.75
Costo total de emisión de un pedido						S/44.79

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 9.
Costo de mantenimiento de materiales en almacén

	Mensual	% tiempo en gestión almacén	Costo mes (S/)
Remuneración gerenciales	8,000	15%	1,200
Remuneracion asistente	2,600	25%	650
Essalud	167	100%	167
Provisión beneficios sociales	308	100%	308
Gastos de oficina	600	100%	100
Total costo administrativo/mes			2,425
Total costo administrativo/anual			29,098
Monto anual repuestos comprados	S/ 530,054		
Costo de almacenar/Costo inventario	5.49%		

Fuente. Elaboración Propia

Seguidamente se muestran las tablas, con la relación de todos los materiales, sus costos unitarios e importe anual, según el consumo.

Seguidamente se organizaron según su costo y de manera decreciente, para luego asignarles su clasificación ABC, en un rango adecuado.

Paralelamente se sometieron a un análisis de criticidad, en el cual se evaluó la frecuencia de su uso; el impacto operacional que ocasiona al fallar; su flexibilidad para encontrar una solución alternativa y por último, el costo de la reparación.

De acuerdo a los resultados que obtengan, se determinará si son Críticos, medianamente críticos o no críticos y, facilitará la toma de decisiones respecto a su nivel de inventarios.

Finalmente, con los datos calculados sobre el costo de emisión de órdenes y mantenimiento de inventario, se calculó el lote económico de compra; el punto de pedido y los inventarios mínimos.

Para el cálculo del stock mínimo se tuvo en consideración los siguientes criterios, consensuados con el personal técnico de la empresa:

Todos los materiales críticos siempre deben tener por los menos una unidad en stock. Se amplió este criterio a aquellos que tienen una criticidad mayor o igual a 50 puntos.

Para determinar el Punto de pedido, se considera el lead time multiplicado por el consumo diario, más un buffer de 50% para salvaguardar imprevistos.

El EOQ, se determinó de acuerdo a su fórmula:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H}}$$

Seguidamente, se muestra esta información.

N°	Código	Repuestos y Material	Unidad	Precio unitario	%	% Acumulado	Consumo anual	Costo anual (S/)	ABC Costo unitario	CRITICIDAD : 1 - 5					Consumo diario promedio	Lead Time en dias	Stock mínimo	Punto de pedido	Costo anual almacenaje	Costo emision orden compra	EOQ
										Frecuencia de uso al año	Impacto operacional	Flexibilidad	Costo de reparar	Crítico							
														>80							
														Semi Crítico							
					79 - 40																
					No Crítico																
					<=39																
1	3600097	Cilindro boom	Und	12,263.1	12.32%	12.32%	3	36,789.4	A	1	5	4	4	80	0.008	8	1	1	673.2	44.8	1
2	2600622	Templador de cadena	Und	9,023.8	9.07%	21.39%	3	27,071.4	A	1	5	4	4	80	0.008	8	1	1	495.4	44.8	1
3	3505972	Arrancador	Und	8,055.3	8.09%	29.48%	4	32,221.1	A	1	5	2	4	40	0.011	8	0	1	442.2	44.8	1
4	3401510	Compresores de Aire Acondicionado	Und	5,600.0	5.63%	35.11%	2	11,200.0	A	1	3	2	4	24	0.006	8	0	1	307.4	44.8	1
5	3401053	Alternador	Und	5,466.0	5.49%	40.60%	2	10,931.9	A	1	5	2	4	40	0.006	8	0	1	300.1	44.8	1
6	2202137	Compresor	Und	4,531.6	4.55%	45.16%	2	9,063.2	A	1	5	2	4	40	0.006	8	0	1	248.8	44.8	1
7	2400255	Sprocket	Und	4,262.8	4.28%	49.44%	3	12,788.4	A	1	5	2	4	40	0.008	8	0	1	234.0	44.8	1
8	2503689	Cigüeñales	Und	4,100.0	4.12%	53.56%	4	16,400.0	A	1	5	4	5	100	0.011	8	1	1	225.1	44.8	1
9	2503431	Bobina de inyector	Und	3,841.4	3.86%	57.42%	5	19,207.1	A	2	5	2	4	80	0.014	8	1	1	210.9	44.8	1
10	2801095	Inyector CAT	Und	3,841.4	3.86%	61.28%	12	46,096.9	A	2	5	2	5	100	0.033	8	1	1	210.9	44.8	2
11	3400864	Bloques de motor 3116	Und	3,250.0	3.27%	64.55%	2	6,500.0	A	1	5	4	5	100	0.006	8	1	1	178.4	44.8	1
12	2101245	Árboles de levas	Und	3,200.0	3.22%	67.76%	3	9,600.0	A	1	3	4	5	60	0.008	8	1	1	175.7	44.8	1
13	2503665	Amés de inyector	Und	2,981.7	3.00%	70.76%	4	11,926.7	A	1	3	2	4	24	0.011	8	0	1	163.7	44.8	1
14	1771392	Puntas de cucharós excavadora	Und	1,210.0	1.22%	71.98%	6	7,260.0	A	4	3	2	4	96	0.017	10	1	1	66.4	44.8	3
15	2503618	Puntas de cucharón retroexcavadora	Und	2,975.0	2.99%	74.96%	1	2,975.0	A	2	3	4	3	72	0.003	10	1	1	163.3	44.8	1
16	2503619	Rodamientos	Und	2,254.0	2.26%	77.23%	42	94,668.0	B	2	4	2	3	48	0.117	8	1	1	123.7	44.8	6
17	2503612	Bobina de inyector Volvo	Und	2,200.0	2.21%	79.44%	5	11,000.0	B	2	5	2	3	60	0.014	8	1	1	120.8	44.8	2

18	3600006	Roller interior derecho	Und	1,909.4	1.92%	81.36%	3	5,728.3	B	1	1	2	2	4	0.008	8	0	1	104.8	44.8	2
19	2504500	Roller interior izquierdo	Und	1,909.4	1.92%	83.28%	2	3,818.9	B	1	1	2	2	4	0.006	8	0	1	104.8	44.8	1
20	2504997	Asiento retroescavadora	Und	1,650.0	1.66%	84.94%	1	1,650.0	B	1	1	2	3	6	0.003	8	0	1	90.6	44.8	1
21	1800158	Pin del cucharón	Und	1,134.4	1.14%	86.08%	2	2,268.8	B	2	3	2	3	36	0.006	8	0	1	62.3	44.8	2
22	3301406	Manguera bucket	Und	890.0	0.89%	86.97%	6	5,340.0	B	2	3	2	2	24	0.017	8	0	1	48.9	44.8	3
23	1400435	Espejos Volvo	Und	810.0	0.81%	87.78%	4	3,240.0	B	1	3	2	2	12	0.011	8	0	1	44.5	44.8	3
24	2801252	Puntas de cucharón excavadora	Und	793.2	0.80%	88.58%	3	2,379.7	B	1	3	2	2	12	0.008	10	0	1	43.5	44.8	2
25	2400444	Componentes del motor Volvo	Und	660.0	0.66%	89.24%	4	2,640.0	B	3	5	2	2	60	0.011	8	1	1	36.2	44.8	3
26	2400364	Joystick	Und	630.5	0.63%	89.88%	2	1,260.9	B	1	5	2	2	20	0.006	8	0	1	34.6	44.8	2
27	3301224	Manguera hidráulica motor	Und	625.8	0.63%	90.51%	14	8,761.4	B	3	3	2	2	36	0.039	8	0	1	34.4	44.8	6
28	2503400	Sellos cilindro boom	Und	458.3	0.46%	90.97%	3	1,375.0	C	2	3	2	2	24	0.008	8	0	1	25.2	44.8	3
29	3401257	Sellos de stick	Und	458.3	0.46%	91.43%	3	1,375.0	C	1	5	2	2	20	0.008	8	0	1	25.2	44.8	3
30	2503541	Kits de pistón y forro C15	Und	410.0	0.41%	91.84%	10	4,100.0	C	2	5	2	2	40	0.028	8	0	1	22.5	44.8	6
31	3301267	Batería	Und	371.3	0.37%	92.21%	6	2,228.1	C	2	5	2	2	40	0.017	8	0	1	20.4	44.8	5
32	3302906	Zapatas CAT	Und	350.4	0.35%	92.56%	12	4,204.7	C	2	5	2	2	40	0.033	8	0	1	19.2	44.8	7
33	3001805	Extensiones de aire / tubos de escape	Und	320.0	0.32%	92.89%	8	2,560.0	C	2	3	2	2	24	0.022	8	0	1	17.6	44.8	6
34	1400591	Indicadores de filtros de aire	Und	305.0	0.31%	93.19%	6	1,830.0	C	2	3	2	2	24	0.017	8	0	1	16.7	44.8	6
35	2505482	Zapatas Volvo	Und	285.0	0.29%	93.48%	20	5,700.0	C	3	5	2	2	60	0.056	8	1	1	15.6	44.8	11
36	2503570	Alarmas y Bocinas	Und	280.0	0.28%	93.76%	3	840.0	C	2	3	2	2	24	0.008	8	0	1	15.4	44.8	4
37	1800046	Kits de juntas ABC	Und	265.0	0.27%	94.03%	8	2,120.0	C	2	3	2	2	24	0.022	8	0	1	14.5	44.8	7
38	1512822	Cinturones	Und	260.0	0.26%	94.29%	20	5,200.0	C	2	5	2	2	40	0.056	8	0	1	14.3	44.8	11
39	3302266	Aceite hidráulico Shell Tellus S2 M46	Paila	255.0	0.26%	94.54%	72	18,360.0	C	2	3	2	2	24	0.200	8	2	2	14.0	44.8	21
40	3302147	Aceite Rimula R4 x R15W40	Paila	245.0	0.25%	94.79%	68	16,660.0	C	2	3	2	2	24	0.189	8	2	2	13.4	44.8	21
41	3301337	Filtro de Aire RE 282286	Und	231.5	0.23%	95.02%	34	7,871.6	C	3	3	2	2	36	0.094	8	1	1	12.7	44.8	15
42	3400962	Faja de alternador	Und	221.6	0.22%	95.25%	3	664.7	C	2	3	2	2	24	0.008	8	0	1	12.2	44.8	5
43	3301338	Amortiguadores	Und	220.0	0.22%	95.47%	40	8,800.0	C	5	3	2	2	60	0.111	8	1	1	12.1	44.8	17
44	3501806	Engranajes cónicos y piñones	Und	210.0	0.21%	95.68%	12	2,520.0	C	2	3	2	2	24	0.033	8	0	1	11.5	44.8	10

45	2801368	Sellos de cigüeñales	Und	205.0	0.21%	95.88%	6	1,230.0	C	2	3	2	2	24	0.017	8	0	1	11.3	44.8	7
46	3301833	Grasa Castrol LM	Paila	200.0	0.20%	96.09%	9	1,800.0	C	2	3	2	2	24	0.025	8	0	1	11.0	44.8	9
47	3301359	Correas tensoras y poleas	Und	200.0	0.20%	96.29%	4	800.0	C	2	3	2	2	24	0.011	8	0	1	11.0	44.8	6
48	3001772	Cabeza de cilindro	Und	200.0	0.20%	96.49%	4	800.0	C	2	3	2	2	24	0.011	8	0	1	11.0	44.8	6
49	2301826	Rodamientos del motor Volvo	Und	195.0	0.20%	96.68%	8	1,560.0	C	3	3	2	2	36	0.022	8	0	1	10.7	44.8	8
50	1800134	Actuadores	Und	185.0	0.19%	96.87%	12	2,220.0	C	4	3	2	2	48	0.033	8	0	1	10.2	44.8	10
51	2504295	Almohadillas de retroexcavadora	Und	185.0	0.19%	97.05%	1	185.0	C	2	3	2	2	24	0.003	8	0	1	10.2	44.8	3
52	2301561	Kit de biela	Und	185.0	0.19%	97.24%	12	2,220.0	C	3	3	2	2	36	0.033	8	0	1	10.2	44.8	10
53	2400107	Rodamientos de cobre	Und	165.0	0.17%	97.41%	8	1,320.0	C	2	3	2	2	24	0.022	8	0	1	9.1	44.8	9
54	2503747	Kits reacondicionamiento culata	Und	165.0	0.17%	97.57%	6	990.0	C	2	3	2	2	24	0.017	8	0	1	9.1	44.8	8
55	2101185	Pedales	Und	163.9	0.16%	97.74%	5	819.4	C	5	5	2	2	100	0.014	8	1	1	9.0	44.8	7
56	2505641	Pin master	Und	152.1	0.15%	97.89%	2	304.1	C	3	5	2	2	60	0.006	8	1	1	8.3	44.8	5
57	3401372	Bielas de conexión	Und	150.0	0.15%	98.04%	10	1,500.0	C	3	5	2	2	60	0.028	8	1	1	8.2	44.8	10
58	2503748	Enlaces de cubo excavadoras	Und	135.0	0.14%	98.18%	2	270.0	C	4	3	2	2	48	0.006	8	0	1	7.4	44.8	5
59	3501683	Kits de sello de la retroexcavadora	Und	120.0	0.12%	98.30%	1	120.0	C	2	3	2	2	24	0.003	8	0	1	6.6	44.8	4
60	3600199	Adapter	Und	114.3	0.11%	98.41%	8	914.5	C	2	3	2	2	24	0.022	8	0	1	6.3	44.8	11
61	3401210	Armaduras	Und	105.0	0.11%	98.52%	4	420.0	C	2	5	2	2	40	0.011	8	0	1	5.8	44.8	8
62	3302101	Bakelita	Und	98.4	0.10%	98.62%	3	295.1	C	1	3	2	2	12	0.008	8	0	1	5.4	44.8	7
63	3301808	Actuadores para sistema de inyección	Und	95.0	0.10%	98.71%	16	1,520.0	C	1	3	2	2	12	0.044	8	0	1	5.2	44.8	17
64	3600249	Cortadores de bits	Und	95.0	0.10%	98.81%	5	475.0	C	1	3	2	2	12	0.014	8	0	1	5.2	44.8	9
65	2600614	Rodamientos compuestos	Und	95.0	0.10%	98.90%	42	3,990.0	C	4	3	2	2	48	0.117	8	1	1	5.2	44.8	27
66	2301423	Kits de juntas serie C	Und	90.0	0.09%	98.99%	12	1,080.0	C	1	3	2	2	12	0.033	8	0	1	4.9	44.8	15
67	3206710	Filtro de Aceite Hidráulico 39911631	Und	85.1	0.09%	99.08%	18	1,531.0	C	1	3	2	2	12	0.050	8	0	1	4.7	44.8	19
68	2503404	Bonetes	Und	85.0	0.09%	99.16%	5	425.0	C	1	3	2	2	12	0.014	8	0	1	4.7	44.8	10
69	3001734	Cepillos	Und	75.0	0.08%	99.24%	4	300.0	C	2	3	2	2	24	0.011	8	0	1	4.1	44.8	9
70	3400934	Admisión de aire / Abrazaderas	Und	65.0	0.07%	99.30%	12	780.0	C	1	3	2	2	12	0.033	8	0	1	3.6	44.8	17
71	3001228	Pedales de freno	Und	65.0	0.07%	99.37%	12	780.0	C	5	3	2	2	60	0.033	8	1	1	3.6	44.8	17

72	3600109	Kits de sellado de cajas	Und	62.0	0.06%	99.43%	6	372.0	C	1	3	2	2	12	0.017	8	0	1	3.4	44.8	13
73	2400001	Piezas del sistema de frenos	Und	60.0	0.06%	99.49%	10	600.0	C	1	5	2	2	20	0.028	8	0	1	3.3	44.8	16
74	2503405	Tiras de desgaste de bronce	Und	60.0	0.06%	99.55%	12	720.0	C	1	3	2	2	12	0.033	8	0	1	3.3	44.8	18
75	3100600	Cables	Und	60.0	0.06%	99.61%	30	1,800.0	C	5	3	2	2	60	0.083	8	1	1	3.3	44.8	29
76	1400402	Juntas moldeadas	Und	52.0	0.05%	99.67%	4	208.0	C	1	5	2	2	20	0.011	8	0	1	2.9	44.8	11
77	3401040	Filtro de cabina	Und	51.2	0.05%	99.72%	20	1,023.8	C	1	5	2	2	20	0.056	8	0	1	2.8	44.8	25
78	2503819	Clavijas	Und	42.0	0.04%	99.76%	20	840.0	C	1	3	2	2	12	0.056	8	0	1	2.3	44.8	28
79	2504011	Circulina	Und	39.1	0.04%	99.80%	13	508.2	C	2	5	2	3	60	0.036	8	1	1	2.1	44.8	23
80	3301143	Filtro Puralator A25655	Und	35.0	0.04%	99.83%	9	315.0	C	1	3	2	1	6	0.025	8	0	1	1.9	44.8	20
81	3501216	Pernos de culata de la serie C	Und	30.0	0.03%	99.86%	10	300.0	C	1	5	2	1	10	0.028	8	0	1	1.6	44.8	23
82	2301903	Resortes de válvula	Und	30.0	0.03%	99.89%	10	300.0	C	1	5	2	1	10	0.028	8	0	1	1.6	44.8	23
83	3001262	Desengrasante	Paila	22.0	0.02%	99.92%	36	792.0	C	5	5	2	2	100	0.100	8	1	1	1.2	44.8	52
84	2504624	Líquido de frenos	Und	22.0	0.02%	99.94%	64	1,408.0	C	5	5	2	2	100	0.178	8	1	2	1.2	44.8	69
85	2202769	Soldadura electrodo Oerlikón	Und	18.0	0.02%	99.96%	65	1,170.0	C	2	5	2	1	20	0.181	8	1	2	1.0	44.8	77
86	3501654	Abrazaderas	Und	15.0	0.02%	99.97%	20	300.0	C	1	5	2	1	10	0.056	8	0	1	0.8	44.8	47
87	3301674	Bornes batería	Und	14.5	0.01%	99.99%	18	261.7	C	1	5	2	1	10	0.050	8	0	1	0.8	44.8	45
88	2600753	Fusibles	Und	10.0	0.01%	100.00%	30	300.0	C	5	5	2	1	50	0.083	8	1	1	0.5	44.8	70
89	2504380	Waipe	Kilo	4.5	0.00%	100.00%	220	990.0	C	5	1	2	1	10	0.611	8	5	7	0.2	44.8	282
							99,516.4	530,054													

Figura 38. Gestión de inventarios

Fuente. Elaboración Propia

– Flujo de Caja proyectado

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inversiones														
Rastreo satelital Fliit	-	5,025												- 5,025
Ingresos														
Mejora en sistema de mantenimiento		972	972	972	972	972	972	972	972	972	972	972	972	11,663
Mejora en capacitación y control operadores		730	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730	8,758
Mejora control de inventarios y compras reactivas		677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	8,129
Total ingresos		2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	28,550
Total ingresos actualizados		2,339	2,300	2,261	2,223	2,186	2,149	2,113	2,078	2,043	2,008	1,975	1,942	45,437
Egresos														
Capacitación sistema RCM		- 4,000	- 4,000											- 8,000
Capacitacion en Gestión de inventarios		- 2,000	- 2,000	- 2,000										- 6,000
Total egresos		- 6,000	- 6,000	- 2,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 14,000
Total egresos actualizados		- 5,899	- 5,800	- 1,901	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 13,600
Flujo bruto		- 3,621	- 3,621	379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	2,379	14,550
(Impuesto a la renta)		1,086	1,086	- 114	- 714	- 714	- 714	- 714	- 714	- 714	- 714	- 714	- 714	- 4,365
Flujo neto		- 2,535	- 2,535	265	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	10,185
Flujo neto actualizado	-	5,025	- 2,492	- 2,450	252	1,556	1,530	1,504	1,479	1,454	1,430	1,406	1,382	8,412
Tasa BCP activa en soles	20.50% anual													
	1.71% mensual													
VAN	S/3,387													
TIR	73.190%													
B/C	2.44													
Retorno	0.60													
	7 meses													

Figura 39. Flujo de Caja proyectado

Estado de resultados

	Actual		Con la propuesta	
Valor venta renta excavadoras anual	S/	2,225,506	S/	2,348,875
Beneficios adicionales de la propuesta				
Reducción compras reactivas				8,129
Reducción consumo de diesel				8,758
Total beneficios adicionales		2,225,506.30		2,365,761.79
Costo servicio de renta anual	-S/	2,015,407	-S/	2,127,129
Utilidad operativa	S/	2,435,605	S/	2,587,507
Gastos financieros	S/	-	S/	1,030
Utilidad antes de participación e impuestos	S/	2,435,605	S/	2,588,538
Impuesto a la renta	S/	730,682	-S/	776,561
Utilidad neta	S/	1,704,924	S/	1,811,976
Reserva (10%)	S/	-	S/	-
Resultado del ejercicio	S/	1,704,924	S/	1,811,976
Rentabilidad sobre ventas		76.6%		77.1%
		0.70%		

Figura 40. Estado de Resultados proyectado

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

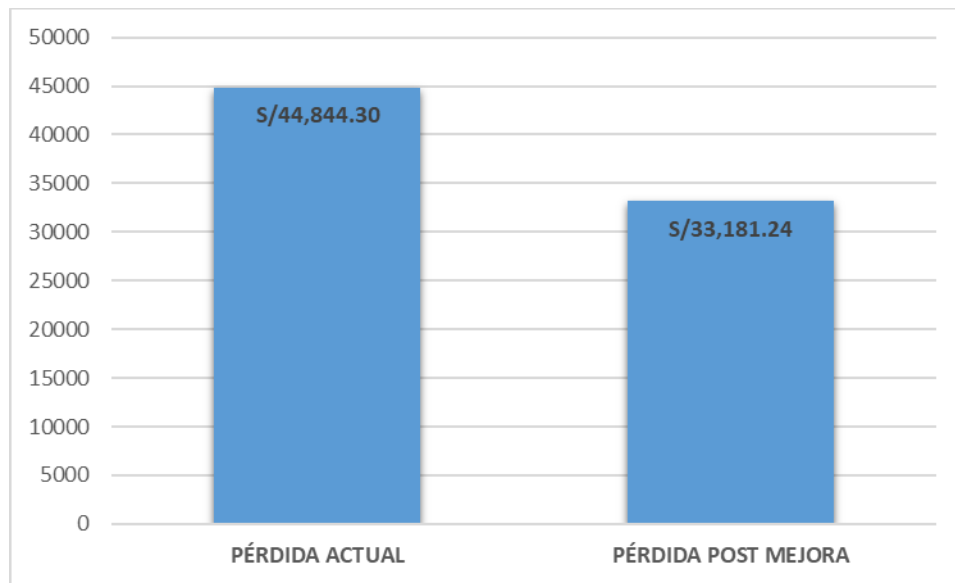


Figura 41. Pérdida Actual Vs Pérdida post mejora de la CR1 Falta Sistema de mantenimiento

Fuente. Elaboración Propia

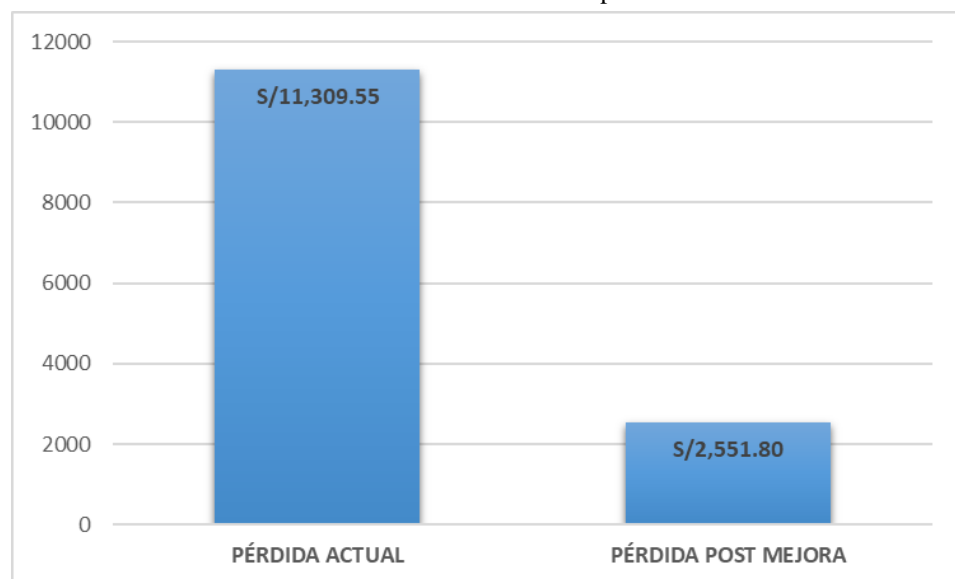


Figura 42. Pérdida Actual Vs Pérdida post mejora de la CR2 Falta Capacitación y Control

Fuente. Elaboración Propia

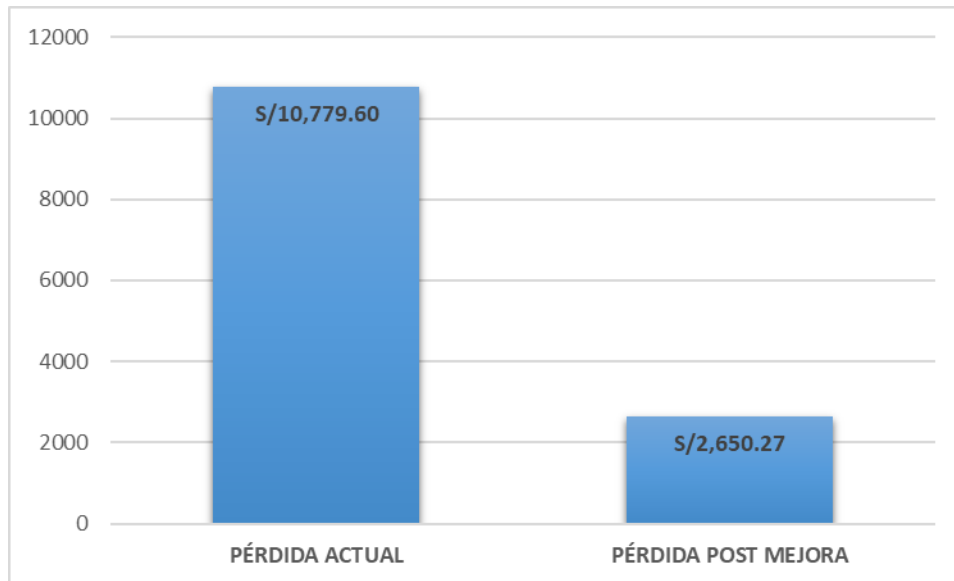


Figura 43. Pérdida Actual Vs Pérdida post mejora de la CR3 Falta Control de Inventarios

Fuente. Elaboración Propia

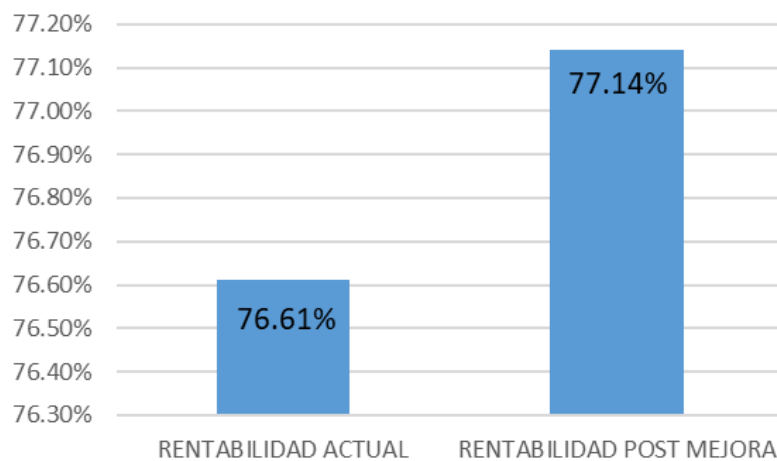


Figura 44. Rentabilidad Actual Vs Rentabilidad post mejora

Fuente. Elaboración Propia

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Coincidiendo con Uuda y Suprano, quienes sostienen que el procedimiento de mantenimiento estándar de las unidades excavadoras debe evaluarse para minimizar la ocurrencia de tiempo de inactividad, de modo que la unidad pueda usarse para la producción máxima y que el método utilizado en este análisis es el método de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), en la presente tesis se usó ese sistema, porque permite obtener mejoras de manera sostenida.

Según la experiencia de Haro, muy parecida a la que presentaba la empresa al momento de su diagnóstico, después de un año de trabajo los vehículos comenzaron a presentar fallas, primero se registraron cada dos meses por lo menos hubo una parada, luego del segundo año las paradas comenzaron a ser quincenal con dos a cinco fallas por paradas. Tras un análisis se encontró que el personal no se encontraba capacitado y no se contaba con un plan de mantenimiento lo que generó todos los problemas presentados, en el diagnóstico se encontró una confiabilidad del 61 %,

López determinó que, un correcto control de inventarios permite a la empresa planificar mejor su producción, orientado al objetivo de reducir los stocks y optimizar los costos sin perjudicar el nivel de servicio a los usuarios finales de la operación minera. Al igual que en la presente tesis, aplicó esta herramienta por nivel de costo y consumo y pudo establecer políticas de inventarios que permitieron mejorar el proceso de gestión de inventario en base a criterios de valor de consumo y costo.

Existe plena coincidencia con Álamo, cuando sostiene que los problemas más consecuentes radican en que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo,

lo que causa que las maquinarias pesadas presenten fallas operativas por cambio de piezas, a ello se suma la falta de control en los procesos y tareas por parte del personal. Las paradas que realizan las maquinarias pesadas generan a la empresa pérdida de dinero en cuanto a producción y costo de reparación, haciendo faltas procesos de mantenimientos para cada maquinaria pesada y que guarde relación con el tipo de actividad que realiza.

Al igual que Cruz y Sánchez quienes determinaron que, el plan de capacitación, puede lograr mejoras significativas en cuanto al desempeño de los trabajadores, en la presente tesis, se considera pertinente las capacitaciones técnicas, para mejorar los niveles de eficiencia y eficacia de los operarios al realizar cada actividad designada.

Se coincide con Álvarez, quien determinó que, al aplicar el AMEF y un plan de mantenimiento, se incrementó la disponibilidad y la confiabilidad, lo cual origina una reducción de fallas, intervenciones, horas de reparación y un aumento en el tiempo promedio entre fallas. Para ello, se basó en el estudio del historial de mantenimiento de los buses de la maquinaria de la empresa.

4.2. Conclusiones

- Con la propuesta de mejora, al aplicar herramientas de ingeniería industrial, tanto en el área de mantenimiento como en el área de logística, se logró incrementar la rentabilidad sobre ventas de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada en un 0.7%, donde la utilidad neta del año 2019 fue de S/2435,605 y del propuesto fue de S2587,507
- Se realizó un análisis de la situación actual del área de mantenimiento y logística de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada,

identificando 3 causas principales que se presentan en las áreas de mantenimiento y logística, siendo estas la falta de un sistema de mantenimiento con un impacto de S/44,844; la falta de capacitación, con un impacto de S/11,310 y la falta de control de inventarios, con un impacto de S/10,780.

- Se han propuesto herramientas de Ingeniería Industrial para la solución de las causas identificadas en el área de mantenimiento y logística de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada, tales como gestión de mantenimiento, gestión de RRHH y gestión logística, obteniendo un beneficio de S/11,663 por la aplicación de AMFE, árbol de causas y Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para la CR1, de S/8,758 por la capacitación técnica de manejo de maquinaria pesada para la CR2 y de S/8,129 por la aplicación de ABC y Criticidad para la CR3.
- Se evaluó la viabilidad económica financiera del impacto producido por la aplicación de la propuesta de mejora en el área de mantenimiento y logística de la empresa suministradora de servicio de maquinaria pesada con un VAN de S/3,387 y un TIR de 73.19%

REFERENCIAS

- Álamo, S. (2018). *Incidencia de la operatividad y confiabilidad de la maquinaria pesada para mejorar la productividad de la Empresa Obrainsa Superconcreto S.A. Olmos, 2018.* Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5317/%C3%81lamo%20Santamar%C3%ADa%20Santiago.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez, L. (2017). *El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa Emtrafesa S.A.C.* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9488/ALVAREZ%20CAMPOS%2C%20Linder%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Auda, S. & Suparno, S. (2019). The Analysis of Doosan S500-LCV Excavator Maintenance Planning to Reduce Downtime Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Method. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 5(1), 333-338. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/b4ed/a6ce3ef4a00bee3a16487509528788f35740.pdf>
- Concepto Definición (2020). *Capacitación.* Recuperado de <https://conceptodefinicion.de/capacitacion/>
- Cruz, A., & Sánchez, L. (2016). *Plan de capacitación para mejorar el desempeño laboral del personal de la empresa publicidad y servicios generales Boga S.A. que labora en el campus UPAO de la ciudad Trujillo en el año 2016* (Tesis de Grado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. Recuperado de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/2333/1/RE_ADMI_ANGHI.CRU

Z_LUIS.SANCHEZ_PLAN.DE.CAPACITACION.PARA.MEJORAR.EL.DESEM
PE%C3%91O.LABORAL_DATOS.PDF

Haro, E. (2011). *Estudio de la base del mantenimiento y su influencia en la confiabilidad de las estaciones de bombeo poliducto Shushufindi- Quito en la Empresa Petrocomercial filial de Petroecuador* (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1264/1/Tesis%20I.%20M.%20117%20-%20Haro%20Villac%C3%ADs%20Edwin%20Marcelo.pdf>

Jiménez, D. (2011). *Análisis y pronósticos de demanda para Telefonía móvil* (Tesis de Grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-jimenez_dl/pdfAmont/cf-jimenez_dl.pdf

López, R. (2017). *Propuesta de mejora del proceso de gestión de inventarios, utilizando el método de reposición ROP y la clasificación ABC, en la cadena de suministro de la empresa minera Colquisiri S.A. Lima, 2017* (Tesis de Grado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11306/Tesis-Roger%20Lopez%20Correa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martín, S (2005). Programa de mantenimiento preventivo.

Mecalux (2019). *Las ventajas del método ABC para la clasificación de inventarios en el almacén*. Recuperado de <https://www.mecalux.es/blog/metodo-abc-clasificacion-almacen#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20ABC%20de%20clasificaci%C3%B3n,valor%20y%20de%20su%20rotaci%C3%B3n.>

Mora, G. & Martiliano, M. (2010). *Modelos de Optimización de la Gestión Logística*.

Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

Nestares, H. (2017). *Propuesta de análisis de fallas de las excavadoras para medir su rentabilidad en la empresa Brynajom S.R.L.* (Tesis de Grado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3673/Nestares%20Rutti.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Niebel, B. & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México D.F., México: Interamericana Editores S.A.

Pérez, A., Rodríguez, A., & Molina, M. (2002). Factores determinantes de la rentabilidad financiera de las pymes. *Spanish Journal of Finance and Accounting/Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 31(112), 395-429.

Salazar, B. (2019). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)*. Recuperado de [https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/#:~:text=El%20An%C3%A1lisis%20del%20Modo%20y%20Efecto%20de%20Fallas%20\(AMEF\)%2C,un%20m%C3%A9todo%20documentado%20de%20prevenci%C3%B3n.](https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/#:~:text=El%20An%C3%A1lisis%20del%20Modo%20y%20Efecto%20de%20Fallas%20(AMEF)%2C,un%20m%C3%A9todo%20documentado%20de%20prevenci%C3%B3n.)

Unión Iberoamericana de Municipalistas (2019). *Capacitación Técnica UIM*. Recuperado de <https://www.uimunicipalistas.org/capacitacion-tecnica/#:~:text=Se%20trata%20de%20acciones%20acad%C3%A9micas,diario%20en%20las%20administraciones%20p%C3%BAblicas.>

ANEXOS

Anexo 1. GPS Control Total



Nuestros clientes reportan que con Fliit obtienen:

<p>Ahorro en el costo de fletes</p>	<p>Mayor optimización de recorridos y tamaño de flota</p>	<p>Reducción en tiempos muertos y no productivos</p>
<p>Reducción de riesgos de accidentes</p>	<p>Aumento de la satisfacción de los clientes</p>	<p>Ahorro en costos de mantenimiento</p>

Anexo 2. Información Maquinaria

Le escribo para saludarlo y a la vez enviarle la información que me solicitó.

Con respecto al rastreo satelital, los equipo CATERPILLAR en su mayoría ya cuentan con un dispositivo GPS se le llama PRODUCT LINK, el cual adicional al envío de la información de geolocalización también envía información del Horómetro del equipo así como alguna alarma o reportes de falla, le adjunto la imagen de la información que este dispositivo nos otorga:



Con respecto a los costos hay 2 posibilidades de tener el acceso a esta plataforma:

1. Si contrata el servicio de mantenimiento llamado CSA el cual incluye la mano de obra y repuestos por 2000 HRS, el acceso a esta plataforma viene incluido.
2. Si solo desea el acceso a la plataforma, hay suscripciones anuales para este servicio que van desde los 90 dólares que es el más básico, en el cual reporta 1 vez al día, hasta 300 dólares en donde manda reportes cada minuto.
3. Como le indiqué casi todos los equipos CAT cuentan con este hardware, pero en caso no tenga o desee colocar este dispositivo el costo es de casi 150 dólares, y puede ser instalado en equipo CATERPILLAR como en cualquier otro equipo, el costo no incluye la suscripción a la plataforma del Vision Link.

Le adjunto también el plan de mantenimiento de una excavadora 320D2L.

Espero les sirva esta información y si desea algún otro dato no dude en comunicarse conmigo.

Saludos cordiales.

Anexo 3. Ficha de inscripción de capacitaciones

ESMAC S.A.	PERFILES DE PUESTO	CODIGO:001
		Emisión 01/12/19
TALENTO HUMANO	AUXILIAR DE PRODUCCIÓN	Edición: 1
		Página :1

1. Información general del puesto :

Nombre del puesto : Operador de Excavadora y/o retroexcavadora

Departamento : Operaciones mina

Jornada y Horario : Lunes a Sábado de 7:00 a 15:00 horas
y 13:00 pm a 18 :00 pm

Jefe Inmediato : Residente

**Supervisa
directamente a :** Ninguno

**Supervisa
indirectamente a :** Ninguno

2. Requisitos :

Nivel Académico : Secundaria completa

Experiencia : 5 años

Edad : n/a

Sexo : n/a

Conocimientos : Electricidad basica , Maquinaria basica.

Habilidades : Motrocidad para realizar trabajos pesados

Anexo 4. Cronograma de capacitaciones

[illegible]

Anexo 5. Fotografías en la empresa





